



Unité de Service Enseignement  
et Formation en Elevage  
Campus de Baillarguet  
TA A-71 / B  
34 398 MONTPELLIER Cedex 5



Université Montpellier II  
UFR - Fac de Sciences  
Place Eugène Bataillon  
34 095 MONTPELLIER Cedex 5

**MASTER**  
**BIOLOGIE GEOSCIENCES AGRORESSOURCES ENVIRONNEMENT**  
**SPECIALITE ECOLOGIE FONCTIONNELLE ET DEVELOPPEMENT DURABLE**  
**PARCOURS ELEVAGE DES PAYS DU SUD :**  
**ENVIRONNEMENT, DEVELOPPEMENT**

---

RAPPORT DE STAGE DE SECONDE ANNEE

**Diagnostic et cartographie des risques de pollution de  
l'environnement (eau, plantes, sol), par les métaux lourds,  
autour de fermes camelines, au Kazakhstan**

Présenté par  
Maëla LE GUILLOU

Réalisé sous la direction de : Gaukhar KONUSPAYEVA  
Organisme d'accueil : Université d'Al Farabi, Faculté de Biologie, Almaty, Kazakhstan  
Période du stage : du 06-04-2009 au 28-08-2009  
Dates de soutenance : du 28-09-2009 au 04-10-2009

Année universitaire 2008-2009



## Remerciements

---

Je tiens à remercier Bernard Faye de m'avoir permis de réaliser ce stage et de découvrir le Kazakhstan. Un grand merci pour Gaukhar Konuspayeva qui m'a guidé et soutenue durant toute la période du stage et qui m'a offert de parcourir le pays pour découvrir et comprendre l'élevage camelin.

Je remercie la faculté d'Al Farabi et Mr Ivachenko de m'avoir accueilli au sein du laboratoire de biologie ainsi que Mr Nurlan Akhmetsadykov pour son accueil au sein d'Antigen, entreprise bientôt internationale !

Je remercie Shynar Akhmetsadykova de m'avoir prêter un coin de sa thèse et lui souhaite réussite pour la suite de son travail. Merci à Akhbayan Serikkyzy pour son chaleureux accueil à Almaty et pour sa motivation à apprendre le français qui m'a donné l'envie d'apprendre le russe ! Merci à Guljan, Mirash et Shattikul pour les missions effectuées ensemble dans les steppes du Kazakhstan.

Je remercie le professeur Ametov pour sa grande connaissance des végétaux et son aide pour déterminer les espèces des plantes échantillonnées.

Je remercie également tous les fermiers qui nous ont accueillis chaleureusement dans leur ferme, avec qui nous avons pu partager *shubat* et savoirs. Pensée particulière pour Bakhut Zhakechbaev et sa famille.



Figure 1 : Dromadaires et hybrides au pâturage, Kyzylorda  
Photo : Le Guillou M.

## Résumé

---

Le lait de chamelle et le *shubat* (lait de chamelle fermenté) sont des produits de consommation courante au Kazakhstan. Dans le but de développer des standards pour l'accès au marché de la grande distribution, il est important de connaître la composition en minéraux et d'évaluer la présence de métaux lourds dans ces produits. En amont de la contamination du lait et du *shubat*, la contamination par les métaux lourds de l'eau, des plantes et du sol, consommés par les animaux, varie selon la distribution des lieux de production. Un diagnostic spatial a été effectué pour 13 fermes situées dans différentes régions du Kazakhstan. La dissémination des métaux lourds à partir des sources de pollution dépend de nombreux paramètres (distance, vents, relief). À l'aide d'un SIG (Système d'Information Géographique), la représentation de la distribution spatiale des risques de pollution a été réalisée. D'autre part, des échantillons d'eau, de sol et de fourrages ont été prélevés afin de déterminer l'intensité de la contamination en différents métaux lourds (plomb, cadmium, zinc, cuivre et chrome) de l'environnement. Les fourrages ont un taux de Pb de  $1.27 \pm 0.15$  ppm en moyenne et de Cd de  $0.18 \pm 0.04$  ppm (% de la matière sèche).

Il s'avère que les sources de pollution sont nombreuses et variées. La représentation spatiale permet de visualiser la position des fermes face à ces sources et d'évaluer l'intensité des risques de contamination.

Mots-clés : Kazakhstan, lait de chamelle, métaux lourds, cartographie, environnement

## Abstract

---

*Camel milk and shubat* (fermented camel milk) are traditional products in Kazakhstan. In order to develop standard for the market and to evaluate the risk of contamination of products for human consumption, studies are in working process to assess the mineral composition and the presence of heavy metals in these products. Prior to the contamination of milk and *shubat*, contamination of water, soil and fodder consumed by camels occurs depending of the spatial distribution of production areas. A spatial diagnosis was carried out for 13 farms located in four regions of Kazakhstan. The dispersion of heavy metals from the pools of pollution depends on many parameters (distances, wind and topography). Using a GIS (Geographical Information System) representation of spatial distribution of pollution risks was conducted. On the other hand samples of water, soil and fodder were taken to assess the intensity of heavy metals contamination (lead, cadmium, zinc, copper and chromium) of the environment. Fodder had a lead concentration of  $1.27 \pm 0.15$  ppm and a cadmium concentration of  $0.18 \pm 0.04$  ppm (% dry weight).

It turns out that they are many sources of pollution and they are threatening the farms in many varied ways. Development of maps allows representing the farms and the origin of pollution and is a useful tool to evaluate the contamination risks.

Key words : Kazakhstan, camel milk, heavy metals, cartography, environment

## Liste des tableaux et figures

---

### Tableaux :

Tableau 1 : Effectif de chameaux en 2008, en milliers de têtes

Tableau 2 : Moyenne, écart-type, minimum, maximum et médiane de différents paramètres physico-chimiques des plantes (en % de la MS).

Tableau 3 : Composition physico-chimique (minimum et maximum en %MS) des familles de plantes.

### Figures :

Figure 1 : Dromadaires et hybrides au pâturage, Kyzylorda

Figure 2 : Topographie du Kazakhstan

Figure 3 : Enclos et usine d'asphalte au sud de Turkestan

Figure 4 : Les régions du Kazakhstan

Figure 5 : Situation des fermes dans les différentes régions du Kazakhstan

Figure 6 : Ferme et source de pollution dans la région d'Almaty

Figure 7 : Fermes et sources de pollution dans la région du Sud-Kazakhstan

Figure 8 : Fermes et sources de pollution dans la région de Kyzylorda

Figure 9 : Fermes et sources de pollution dans la région d'Atyrau

Figure 10 : Sources de pollution identifiées dans les régions d'étude

Figure 11 : Valeurs de différents indicateurs par ferme

Figure 12 : Taux de Pb et de Cd dans les échantillons de plantes selon les fermes

Figure 13 : Troupeau dans les steppes au nord d'Atyrau

Figure 14 : plante de la famille des Asteraceae et du genre *Artemisia*

Figure 15 : Troupeau au nord d'Atyrau

## Sommaire

---

Introduction .....	6
I. Contexte de l'étude .....	8
A. Présentation du Kazakhstan.....	8
B. Elevage camelin et productions.....	10
1. Généralités sur l'élevage au Kazakhstan .....	10
2. L'élevage du chameau .....	11
3. Fabrication des produits laitiers .....	12
C. Pollutions et métaux lourds .....	12
1. Définition .....	12
2. Présentation des métaux lourds (ML) étudiés : plomb, cadmium, chrome, cuivre et zinc .....	13
3. Comportement des contaminants dans l'environnement .....	15
4. Contamination des animaux et des humains .....	16
D. Diagnostic spatial, indicateurs de risque .....	19
II. Matériels et méthodes.....	21
A. Description des régions d'étude.....	21
1. Environnement et ressources.....	21
2. Industries et pollution.....	22
B. Collecte des échantillons .....	24
1. Echantillonnage du lait et du <i>shubat</i> .....	24
2. Echantillonnage de sol .....	24
3. Echantillonnage de l'eau.....	24
4. Echantillonnage des plantes .....	24
C. Analyse environnementale et spatiale .....	25
1. Récolte des données .....	25
2. Traitement des données sous ArcGis .....	26
3. Indicateurs de risques de pollution.....	26
D. Analyse statistique.....	27
III. Résultats et discussion.....	28
A. Situation des fermes par rapport aux risques de pollution .....	28
B. Analyses des données expérimentales.....	36
1. Pb et Cd dans les plantes :.....	36
2. Comparaison avec l'analyse spatiale.....	37
C. Analyse de la composition physico-chimique des fourrages .....	38
Conclusion.....	42
Bibliographie.....	41
ANNEXES .....	47

## Introduction

---

La République du Kazakhstan est une jeune république d'Asie centrale, issue du démantèlement de l'Union Soviétique. Avant l'annexion à l'empire soviétique, le peuple kazakh était nomade, parcourant les immenses pâturages d'Asie centrale pour l'élevage de leurs chameaux, moutons et chevaux. La base de leur alimentation est constituée de produits animaux, viande et produits laitiers. La consommation de lait et de produits fermentés, à partir du lait de jument ou de chamelle, est traditionnellement répandue. Le *shubat* (lait de chamelle fermenté) est produit de façon artisanale (pas de méthode standard), sa préparation varie selon les régions, les saisons, les ferments utilisés, les stades de lactation, l'alimentation et l'âge des animaux (Konuspayeva *et al.*, 2003). La composition du lait de chamelle et du *shubat* est peu documentée et n'est pas réglementée sur le marché de la grande consommation.

En outre, l'environnement kazakh et en particulier les régions steppiques sont fortement touchés par la pollution de l'air, de l'eau, du sol ou des végétaux par des éléments chimiques (pesticides, métaux lourds, ..), minéraux ou radioactifs. Il est reconnu que ces pollutions ont de nombreux effets sur les écosystèmes en général, mais on s'interroge sur les conséquences de la pollution sur des animaux tels que les chameaux et sur le risque de retrouver ces pollutions dans le lait et donc dans les produits de consommation humaine. Non seulement cela pose un risque pour la sécurité sanitaire mais encore il s'avère que les minéraux mineurs et les métaux lourds peuvent jouer un rôle négatif sur les processus de transformation des produits laitiers (Faye, 2009). Il paraît alors important de connaître plus précisément la composition des produits laitiers, de mettre en place des standards pour le lait de chamelle et d'améliorer les connaissances sur les processus de transfert des métaux lourds le long de la chaîne alimentaire (eau, plantes, sol- lait- shubat –homme).

La recherche et le développement de la filière lait de chamelle au Kazakhstan sont depuis plus de dix ans menés grâce à la coopération entre la France et le Kazakhstan. Cette coopération se concentre sur deux aspects : la caractérisation des produits laitiers traditionnels et les déterminants de leur qualité. Les recherches en cours portent sur l'établissement de standards pour le lait de chamelle, la bio-activité des lactoprotéines, la gestion de la qualité dans la transformation fermière. Depuis un an, une thèse en partenariat entre la faculté de biologie de l'université Al-Farabi à Almaty, Kazakhstan et le CIRAD à Montpellier, France, est en cours pour étudier l'impact de la pollution environnementale sur la qualité du lait de chamelle. Plusieurs problématiques s'imposent face à ce travail, tout d'abord comment évaluer l'importance qualitative et quantitative des contaminants dans les produits animaux tels que les laits fermentés, ensuite identifier la variation spatiale et saisonnière de la contamination, identifier si les processus de transformation des produits laitiers jouent un rôle dans l'importance de la contamination (interaction entre métaux lourds et bactéries lactiques) et enfin déterminer la nature des normes à mettre en place pour la commercialisation des produits.

Ce stage vient en complément de la thèse et s'appuiera plus particulièrement à étudier la distribution spatiale des pollutions et l'évaluation des risques de contamination des chamelles face aux métaux lourds. En amont de la contamination du lait et du *shubat*, la contamination de l'eau, des plantes et du sol, consommés par les animaux, varie selon les lieux, les saisons et les types d'élevage. Un premier stage effectué en 2007 a permis de faire un état des lieux quant à la présence de métaux lourds et de radionucléides dans l'environnement de différentes fermes (eau et fourrage) ainsi que dans le lait de chamelle et le *shubat* (Diacono, 2007). Il n'a pas été possible d'établir de relations bien définies entre les concentrations en métaux lourds dans le lait et le *shubat* et les concentrations dans les différents éléments de l'environnement.

Le stage prendra comme objet d'étude des fermes d'élevage camelin situées dans quatre régions du Kazakhstan (la région d'Almaty, du Sud-Kazakhstan, de Kyzylorda et d'Atyrau) et soumises à différentes pressions anthropiques.

Dans le but d'évaluer le devenir des contaminants le long de la chaîne alimentaire, la distribution spatiale des sources de pollution et des différentes pressions anthropiques doit être déterminée autour des fermes. Selon l'importance de la pollution s'exerçant sur chacune des fermes, le niveau de contamination de l'environnement et des produits laitiers devrait varier. Le niveau de contamination dépend également de différents paramètres (distance ferme-source de pollution, vent, nombre de sources de pollution...). Le présent stage a permis de déterminer comment représenter ces risques de pollution et a cherché à évaluer l'intensité de la contamination en différents métaux lourds (plomb, cadmium, zinc, cuivre et chrome) selon la distribution des fermes.

La cartographie, outil de travail actuellement en plein développement, a permis une gestion efficace de ces données. En premier lieu, elle a nécessité une enquête sur le territoire d'étude puis elle a permis l'élaboration de cartes et de modèles spatialisés pour organiser les résultats.

Une revue de la nature des sources de pollution existantes au Kazakhstan est nécessaire afin d'établir un diagnostic préliminaire des risques de pollution, puis une recherche sur la nature des métaux lourds et leur comportement dans l'environnement permet d'envisager plus précisément la répartition et le comportement des différents métaux lourds dans l'environnement. Ensuite la valeur de l'outil cartographie sera explicitée. Elle nécessite de faire une étude de territoire pour ensuite élaborer des cartes organisant les différentes données. Après avoir présenté le matériel disponible pour l'étude et les méthodes appliquées, les cartes obtenues et les résultats seront exposés, accompagnés d'une discussion sur leur fiabilité et leur pertinence.

## I. Contexte de l'étude

### A. Présentation du Kazakhstan

Le Kazakhstan s'étend sur plus de 2 millions de km<sup>2</sup>, soit cinq fois la France, pour 15 millions d'habitants. Il est situé en Asie Centrale, entre la Russie, la Chine, le Kirghizstan et l'Ouzbékistan (figure2).

Une ceinture de pins et de forêts couvre la partie nord du pays, puis s'étend une des plus grandes régions sèches du monde, une vaste étendue de pâturages. Enfin, deux chaînes de montagnes parcourent l'est et le sud du pays le long des frontières kirghizes et chinoises.

Le climat du Kazakhstan est continental. Les pluies diminuent et les températures augmentent plus on descend vers le sud. La ceinture de steppe devient semi-désert puis désert. Les vents forts sont une caractéristique notable dans les steppes et déserts du pays.



Figure 2 : Topographie du Kazakhstan

C'était un pays de tradition nomade jusqu'à l'arrivée des soviétiques et l'intégration dans l'URSS à partir de 1937. Après la chute de l'URSS, l'indépendance a été signée en 1990 avec la mise en place d'une république démocratique. La ville d'Almaty a perdu son statut de capitale en 1997, qui a été déplacée à Astana.

Son économie est basée sur ses ressources en matières premières et sur son industrie métallurgique. Le pays est peu engagé sur la scène internationale et les médias en parlent peu. Pourtant, il dispose de ressources considérables (pétrole, uranium, gaz et ressources minérales). La moitié des ressources financières viennent du pétrole (28e rang mondial pour l'exploitation et 13e rang pour les quantités de réserve). Il y a 3 raffineries principales : Pavlodar au Nord, Chimkent au Sud (160 000b/jr) et Atyrau à l'Ouest (Troubetzkoy, 2000).



Durant la période soviétique, les terres du Kazakhstan ont été sujettes à un nombre considérable de traitements brutaux, au nom du développement économique. L'assèchement de la mer d'Aral par la déviation des eaux du fleuve Syr Daria pour l'irrigation des cultures de coton et de riz en particulier. Le retournement des steppes du nord pour la culture du blé durant la campagne des terres vierges initiée en 1950, devait permettre aux soviétiques d'enrayer la pénurie alimentaire. Mais l'exploitation intensive de ces terres arides a eu surtout l'effet de promouvoir la dégradation et l'érosion des sols (Brummel, 2008). D'autre part, l'élevage, déplacé par les cultures, s'est concentré dans les steppes plus arides et les quasi-déserts du Kazakhstan central et oriental, entraînant un fort surpâturage qui dégrade les sols (Akhmetsadykova, 2008).

Le Kazakhstan a également été la base d'essais et d'expérimentations pour servir les ambitions de l'URSS. Les steppes ont été choisies comme sites de stockage et de production d'armements, d'appareillages nucléaires ou de production de missiles. Le pays a été également le lieu d'essai d'armes bactériologiques, notamment dans la région de la mer d'Aral, où les autorités s'inquiètent actuellement du danger que représentent les produits toxiques enfouis sur les lieux des expérimentations (Brunet, 2001).

L'installation des industries métallurgiques durant la période soviétique a contribué à de hauts niveaux d'émission de CO<sub>2</sub> et à des taux élevés de contamination des rivières du pays par les métaux lourds et autres substances toxiques (Brummel, 2008). Entre 1990 et 1999, les émissions dans l'atmosphère ont réduit de moitié (de 4 à 2 millions de tonnes), ce qui a été principalement dû à la réduction des activités industrielles. La récente reprise de ces activités avec le développement de la coopération entre l'Etat kazakh et des firmes étrangères a entraîné une hausse constante des émissions. En 2003, la quantité totale de rejets de substances polluantes provenant de sources stables dans l'atmosphère était de 2,9 millions de tonnes (dont 0,7 sous forme solide). Les émissions avaient augmenté de 19% par rapport à 2002. La pollution atmosphérique est également la conséquence de l'augmentation annuelle du parc automobile et de l'utilisation d'une essence au plomb. Les rejets provenant de sources mobiles (transports principalement) sont importants, il y aurait eu 1190 milliers de tonnes rejetées dans l'atmosphère en 2003 (Ministère de l'environnement, 2007).

A cela s'ajoutent la pollution des terres agricoles et du réseau hydrographique par l'application de pesticides et de fertilisants, et la pollution par le rejet des déchets quotidiens et les décharges sauvages.

Environ 22 milliards de tonnes de déchets industriels ont été accumulés sur le territoire du pays. Le volume annuel de déchets industriels toxiques augmente constamment. La majorité des déchets produits ne sont ni recyclés, ni réutilisés, ils sont abandonnés sur le territoire (Esekin, 2000). Une vaste partie du territoire est donc sacrifiée, rongée par l'accumulation des déchets toxiques, les décharges, les carrières abandonnées ou les forages. Les problèmes de pollution des sols par les substances toxiques s'aggravent avec l'accroissement de l'activité industrielle. Les principaux polluants des sols sont les métaux lourds et les substances chimiques toxiques (plomb, zinc, cadmium, fluor...).

Les dégâts sur la population et l'environnement sont considérables et les études évaluant leur impact restent encore rares.

Néanmoins, l'établissement du nouveau code environnemental avec la mise en place de nouveaux parcs nationaux et autres aires protégées ainsi que la mise en place de charges pour les entreprises industrielles sont les signes de la préoccupation grandissante de l'Etat pour améliorer la situation (Brummel, 2008). Le pays a signé les documents de la conférence de l'ONU pour la protection de l'environnement à Rio en 1992 et d'importantes conventions sur le changement climatique. Il participe à de nombreux projets transfrontaliers pour lutter contre la désertification, la déforestation ou pour la sauvegarde de la mer d'Aral. La coopération entre les pays d'Asie centrale a permis de développer une politique environnementale régionale pour résoudre les problèmes environnementaux, en particulier celui de l'utilisation des ressources en eaux (Esekin, 2000).

De plus le pays s'ouvre aux capitaux étrangers pour la remise en état des concessions d'uranium et d'extraction minière, et également l'investissement pour moderniser les installations industrielles et pour réduire les pollutions dues à l'exploitation pétrolière.

## **B. Elevage camelin et productions**

### **1. Généralités sur l'élevage au Kazakhstan**

Le Kazakhstan a un territoire adapté pour la production pastorale. Equins, ovins, caprins, chameaux et dromadaires y pâturent toute l'année. Pendant le régime soviétique, les pratiques d'exploitation du territoire par les nomades ont été modifiées. Notamment, la mise en place des fermes d'Etat a poussé les pasteurs à se sédentariser.

Depuis la chute de l'URSS, les grandes exploitations d'Etat ont peu à peu disparu et ont été remplacées par des petites exploitations familiales. Certaines ont été transformées en compagnies privées. En 2008, il restait 25 exploitations d'Etat pour 170 000 exploitations familiales et 5000 entreprises privées (Agence de statistiques du Kazakhstan, 2009).

L'effondrement de l'URSS et de l'économie planifiée de type soviétique a provoqué un recul de l'activité agricole. La population cameline a beaucoup diminué, il y avait 145 000 chameaux en 1991 et seulement 98 300 en 2002. Depuis, le nombre de têtes augmente régulièrement. Le tableau 1 présente la répartition des effectifs de chameaux selon plusieurs régions. Il y avait en 2008, 152 400 chameaux dans tout le pays (Agence de statistiques du Kazakhstan, 2009).

**Tableau 1 :** Effectif de chameaux en 2008, en milliers de têtes (Agence de statistiques du Kazakhstan)

<i>Kazakhstan</i>	<i>152,4</i>
Région d Almaty	5,6
Région d'Atyrau	31,9
Région de Kyzylorda	27,7
Région du Sud Kazakstan	16,8

Les quatre régions visitées dans cette étude détiennent 53% du cheptel camelin. On y trouve les plus fortes concentrations de chameaux du pays. L'élevage camelin est localisé dans la partie sud du pays, dans les zones de pâturages naturels de la steppe. Il y a 182 millions d'hectares (ha) de pâturage dans le pays, dont 75% est de type désert ou semi-désert. Les surfaces pâturées ont augmenté entre 1990 et 1999. Une partie importante des terres est touchée par la salinisation et l'érosion. De nombreux pâturages sont surexploités ou dégradés par la pollution due à l'extraction de pétrole, aux rejets de déchets toxiques ou par des éléments radioactifs.

## **2. L'élevage du chameau**

Le chameau est un mammifère herbivore ruminant. Il appartient au genre *camelus* qui comprend deux espèces domestiques:

- *Camelus dromadarius* appelé communément dromadaire ou chameau à une bosse
- *Camelus bactrianus* appelé chameau de Bactriane, chameau à deux bosses.

Il est équipé de dents broyeuses et d'un estomac complexe à plusieurs poches. Il exploite à la fois les pâturages terrestres graminéens ou non graminéens (légumineuses, crucifères), et les pâturages ligneux. Il est friand également de buissons épineux qu'il peut ingérer facilement grâce à sa bouche adaptée et à sa salive gluante. En général, il broute de 4 à 8 heures par jour, surtout le matin et le soir. En saison des pluies, il ingère 2 à 3 kg de fourrage par heure en marquant une préférence pour les graminées turgescents. En saison sèche, sa ration tombe à 1-1,5kg de fourrage par heure en séjournant dans les pâturages les plus verts et les plus ligneux (Launois *et al.*, 2002).

Au Kazakhstan, les dromadaires et les chameaux de Bactriane cohabitent sur le même territoire. La race de Bactriane kazakhstanaise est particulièrement réputée pour sa productivité en laine et en viande alors que les dromadaires de race Arvana (origine turkmène) se distinguent plutôt par leur productivité laitière. Les élevages camelins mixtes sont assez courants dans tout le pays et l'hybridation entre les deux espèces est communément pratiquée, notamment pour améliorer le rendement laitier des Bactrianes (Konuspayeva *et al.*, 2003).

Basés sur une tradition d'élevage extensif nomade, les animaux pâturent librement dans les steppes la majorité de l'année. Il n'y a plus guère de pasteurs nomades, mais des bergers qui vivent une partie de l'année sur le lieu des pâturages quand celui-ci est éloigné de la ferme d'exploitation. Dans certains élevages, les fermiers exploitent une zone de pâturage d'hiver différente de la zone de pâturage d'été. Des compléments alimentaires sont donnés en hiver et parfois aux chamelles en lactation au printemps/été. Les chamelles sont traitées à la main, à la ferme ou sur le lieu de pâturage.

Le chamelon est toujours présent lors de la traite car sa présence triple la production de lait. Environ 55% du lait est bu par le chamelon. La production varie de 4 à 8 litres de lait par jour, avec un maximum de 8 à 10 litres, 2 à 3 mois après la mise bas (Launois *et al.*, 2002).

### **3. Fabrication des produits laitiers**

Basée sur un élevage extensif nomade ou sédentaire, les traditions de fabrication du *shubat* relèvent d'un savoir-faire lié essentiellement à la maîtrise des fermentations lactiques naturelles.

Le principe de la conservation des produits fermentés repose sur la transformation du lactose du lait en acide lactique par l'action de micro-organismes. L'acidification du milieu qui résulte de cette transformation est alors généralement suffisante pour limiter le développement de bactéries putréfiantes ou pathogènes, et le produit peut ainsi résister à la conservation (Duteurtre, 1999).

Le *shubat* est fabriqué directement après la traite, à partir du ferment du *shubat* précédent. Sa fabrication relève de procédés artisanaux ou semi-artisanaux. Le mode de préparation peut ainsi changer selon les régions et les saisons (Konuspayeva, 2007). De génération en génération les consommateurs de lait de chamelle ou de *shubat* leur attribuent des propriétés médicinales. Riche en bactéries lactiques qui renforcent les propriétés anti bactériennes du lait, il est utilisé pour la prévention et la lutte contre les diarrhées. L'usage du lait de chamelle pour le traitement de la tuberculose, du diabète, des ulcères ou pour ses propriétés anti infectieuses est couramment cité dans la littérature (Konuspayeva *et al.*, 2003).

L'existence de souches bactériennes capables de fixer les métaux lourds, en particulier le cadmium et le plomb, est en cours d'étude. Il serait alors possible de sélectionner des souches lactiques pour cette propriété et de les utiliser comme starter dans du lait de chamelle pasteurisé ou thermisé (Akhmetsadykova, 2008). Le lait pourrait alors être désintoxiqué.

## **C. Pollutions et métaux lourds**

### **1. Définition**

L'expression « métaux lourds » désigne pour les chimistes, des métaux de numéro atomique élevé, de densité supérieure à 5g/cm<sup>3</sup> et qui forment des sulfures insolubles. Les métaux lourds et les métalloïdes lourds sont présents de façon naturelle dans les sols. Ils proviennent en grande partie de l'altération de la roche mère du sous-sol. Toutefois, les concentrations les plus importantes rencontrées dans les sols sont liées à l'activité humaine : stockage de déchets industriels et urbains (mines et fonderies de métaux non ferreux, décharges publiques), pratiques agricoles (pratique de fertilisation à l'aide de compost urbain, de déjections animales ou de boues de station d'épuration), pollutions dues à des retombées atmosphériques (essence au plomb, poussières des industries métallurgiques, incinération des ordures ménagères...). Contrairement aux contaminants organiques, les métaux lourds sont indéfiniment stables en tant que tels. Une fois fixés à un piège chimique, les métaux lourds se déplacent très peu. Hormis le mercure, ils sont non volatils (Miquel, 2001).

## **2. Présentation des métaux lourds (ML) étudiés : plomb, cadmium, chrome, cuivre et zinc**

Le plomb et le cadmium ont des particularités en commun. Ils ont une forte conductivité chimique, c'est pourquoi on les rencontre dans de nombreux procédés industriels. A partir d'une certaine dose, ils présentent une nocivité pour l'homme. Ils peuvent notamment entraîner des lésions neurologiques ou provoquer des cancers. Tandis que tous les autres métaux ont une utilité dans le processus biologique -certains (les oligo-éléments) sont même indispensables à la vie (le fer, le cuivre, le nickel, le chrome...).

### **Le plomb**

Le plomb (Pb) est issu d'un minerai, la galène. L'utilisation du plomb est directement liée à la métallurgie. La révolution industrielle a entraîné de nouvelles utilisations massives et une augmentation exponentielle de son exploitation depuis un siècle, tout en se transformant radicalement. Pendant la première moitié du siècle, le plomb a été utilisé dans l'industrie, l'imprimerie et les peintures. Dans la seconde moitié du siècle, l'utilisation dominante est liée aux carburants automobiles, le plomb étant ajouté à l'essence comme antidétonant (Miquel, 2001). Cette utilisation est prohibée en France depuis 2000 mais le plomb est encore largement utilisé dans l'essence au Kazakhstan.

Les principaux émetteurs de plomb, après la circulation automobile, sont les industries métallurgiques et les usines d'incinération des déchets (batteries ou accumulateurs en fin de vie). De nombreux progrès ont été faits en Europe grâce au tri des déchets et à l'épuration des effluents industriels, mais la gestion des déchets au Kazakhstan reste encore problématique.

Une étude estime que l'apport de plomb dans l'organisme est dû pour environ 60% à l'ingestion d'aliments, 27% à l'eau, entre 3 et 11% à l'air, et de 4% à l'ingestion de poussière (AFFSSA, 2006).

Sur la scène internationale, les teneurs en Pb sont largement réglementées. La valeur limite dans l'eau est de 25µg/l dans l'Union Européenne (UE) (elle passera à 10µg/L à partir de 2013), la valeur guide fixée par l'OMS est de 10µg/L, les USA ont une valeur limite de 15µg/L (AFFSSA, 2006). Une valeur limite a été fixée en droit français pour le plomb dans l'atmosphère, de 0,5 µg/m<sup>3</sup> d'air, en moyenne (Miquel, 2001). Des valeurs limites sont également fixées pour les produits de consommation humaine et animale.

### **Le cadmium**

Le cadmium (Cd) est un élément naturel, présent dans certains minerais (notamment de zinc) sous forme d'impuretés. Ce métal est rencontré notamment dans les batteries. Le cadmium a été abondamment utilisé pour protéger l'acier contre la corrosion (cadmiage), ou comme stabilisant pour les plastiques et les pigments.

En France, le premier secteur responsable des émissions est le traitement des ordures ménagères, viennent ensuite les procédés industriels de traitement de minerais pour la production des métaux. La combustion à partir des combustibles minéraux solides, du fioul lourd et surtout de la biomasse engendre une part significative des émissions. On note également des émissions de cadmium par les usines de production d'asphalte. On peut noter

qu'en France, la contamination diffuse des sols en Cd est due à 89% aux engrais (Ademe, 2009).

La concentration limite en Cd dans l'eau, fixée par la FAO, selon le Codex Alimentarius est de 3µg/L.

## Le Chrome

Le chrome (Cr) est un métal dur d'une couleur gris acier argenté. Il est utilisé en métallurgie, pour améliorer la résistance à la corrosion, dans l'industrie du verre, pour le tannage des peaux, dans les colorants et les peintures. Le chrome trivalent est un oligo-élément essentiel aux organismes. Le chrome est extrait des mines sous forme de minerai de chromite dont on trouve des dépôts importants au Kazakhstan (Santé Canada, 2009).

Le chrome à l'état trivalent que l'on trouve le plus fréquemment dans la nature, n'est pas toxique, c'est à sa forme oxydée, le chrome hexavalent, que l'on attribue les effets toxiques. Il est jugé toxique pour l'homme en cas d'inhalation, de contact avec la peau et d'absorption systémique. Les principaux cas d'intoxication ont surtout été observés pour les ouvriers travaillant dans l'industrie du chrome. La forme toxique observée dans l'environnement provient des rejets industriels et domestiques, de la dégradation des déchets accumulés dans les décharges. L'apport d'engrais phosphatés participe également à l'apport de chrome dans les sols.

L'OMS, l'UE et le Canada ont fixé la concentration maximale en chrome dans l'eau à 0,05mg/L. Généralement on mesure la teneur en chrome total dissout dans les échantillons d'eau, sachant que le chrome trivalent n'est probablement pas présent dans les eaux de pH5 ou plus. Le chrome est présent dans les sols canadiens à des concentrations variant entre 20 et 125mg/kg (Santé Canada, 2009).

## Le cuivre

Le cuivre (Cu) est un constituant de la croûte terrestre, présent dans le sol sous forme de minéraux. On rencontre le cuivre sous plusieurs formes chimiques solubles (chlorure de cuivre, sulfate de cuivre...). Les émissions anthropiques sont dues à l'utilisation du cuivre dans de nombreuses activités industrielles : fabrication de fils électriques, alliages métalliques (pour fabrication d'accessoires de plomberie : tuyaux, robinets), raffinage du pétrole, protection du bois ou pratiques agricoles (pesticides ou médicaments vétérinaires).

Cet élément trace est également un minéral dit mineur largement indispensable aux animaux d'élevage du fait de leur rôle dans tout un ensemble de mécanismes biologiques, y compris chez les camélidés (Faye et Bengoumi, 1994).

Les valeurs de références ou limites de qualité pour la concentration du Cu dans l'eau sont de 2mg/l pour l'UE et l'OMS, 1,3mg/l pour le Canada et 1mg/l pour les USA (AFFSSA, 2006).

## Le Zinc

Le zinc (Zn) est utilisé pour la constitution de matériaux de protection, contre la corrosion ou dans les batteries. En France, la sidérurgie représentait plus de 60 % des

émissions de zinc en 1997 contre près de 20 % pour l'incinération des déchets (Miquel, 2001). Issues de la combustion du charbon et du fioul lourd, les émissions de zinc sont également dues à des procédés industriels appartenant à la métallurgie, ainsi qu'à l'incinération des déchets.

Le Zn est, comme le Cu, indispensable au bon fonctionnement du métabolisme des animaux d'élevage (Faye et Bengoumi, 1994).

Il existe des plantes hyperaccumulatrices de Zn, pouvant accumuler plus de 10 000mg/kg de Zn dans leurs tissus. Le seuil supérieur de toxicité du Zn pour des plantes non accumulatrices est de 100 à 500 mg/kg de matière sèche (MS) (Ademe, 2009).

### **3. Comportement des contaminants dans l'environnement**

La contamination des différents compartiments est due à plusieurs processus, naturels (dégradation et érosion de la roche mère, éruption volcanique) ou anthropiques (extraction minière et utilisation des métaux). Une fois en circulation, les métaux se distribuent dans tous les compartiments de la biosphère : terre, air, océan. Une partie des métaux lourds part directement dans le sol et l'eau mais l'essentiel est d'abord émis dans l'atmosphère avant de rejoindre les deux autres éléments.

Les échanges sont permanents et se chiffrent par milliers ou centaines de milliers de tonnes. En 2000, les seuls rejets atmosphériques de plomb représentent 300 à 400 000 tonnes dont 95% d'origine anthropique (Miquel, 2001).

La principale source de fuite des métaux lourds est donc le rejet des substances dans l'air. Celles-ci vont ensuite être dispersées selon divers facteurs avant de retomber sur les sols ou dans l'eau. Selon la circulation de l'air, les polluants vont soit retomber à proximité de la source soit être émis dans les couches plus hautes de l'atmosphère et soumis à la circulation du vent. Les particules les plus grosses vont rester à proximité de leur lieu de production (exemple : le zinc et le cadmium liés à l'usure des pneus restent sur la chaussée ou dans une bande étroite de part et d'autre de la chaussée), alors que les plus fines peuvent être dispersées à des milliers de kilomètres. Les concentrations dans les différents milieux vont dépendre en partie de facteurs indépendants des sources et de la volonté de l'homme : circulation de l'air, pluviométrie et relief. En particulier, les montagnes et les collines vont influencer les retombées de polluants. Des situations de fortes pollutions s'observent souvent dans des agglomérations urbaines ou industrielles ou dans des vallées encaissées où les polluants vont s'accumuler. D'autre part, en bord de mer ou d'un grand lac, on observe un effet de brise, circulation d'air local créée par l'écart de température entre l'eau et la terre qui peut entraîner une accumulation des polluants (Fontan, 2003). Il s'avère que les zones les plus touchées par la pollution sévère ne sont pas souvent celles sous les vents dominants mais celles qui reçoivent la pollution lorsque les vents sont faibles et l'atmosphère stable (Venetsanos, 2002). A l'échelle régionale, en présence de perturbation, les polluants s'échappent de la couche limite et se dispersent dans la troposphère. Ils sont en partie captés par les nuages et peuvent donner lieu à des réactions chimiques. Ils peuvent alors parcourir de grandes distances. Ils sont amenés au sol par précipitation (Fontan, 2003).

Une fois les substances entraînées dans l'atmosphère, elles retombent, soit dans l'eau soit sur les sols ou les plantes. Les composés insolubles sont de préférence absorbés par les sédiments, d'où la présence parfois très forte de cadmium dans les vases de certaines rivières, les lacs et les canaux. On retrouve des concentrations importantes de métaux lourds dans les sédiments des fleuves (Miquel, 2001).

Une fois dans les sols, les métaux lourds vont se déplacer très peu. Le plomb et le cadmium dans les sols présentent la particularité d'être surtout abondants dans les horizons de surface (0 à 20 cm de profondeur) en raison de leur affinité avec les matières organiques (Miquel, 2001).

Dans les sols, il est difficile de fixer des valeurs limites standards de concentration à partir desquelles on peut considérer que le sol est pollué. Etant donné la très grande variabilité de la pédogénèse, les valeurs seront liées à la concentration en métaux originels du sous-sol sur lequel se développe le sol (Miquel, 2001). Néanmoins des limites sont fixées pour les sols agricoles ou selon les effets sur les animaux.

Les plantes, à l'interface entre le sol et l'atmosphère, peuvent être contaminées soit par les dépôts atmosphériques soit par l'absorption racinaire.

#### **4. Contamination des animaux et des humains**

Les éléments en traces se concentrent au fur et à mesure des absorptions dans la chaîne alimentaire (par exemple : eau, plancton, poisson herbivore, poisson carnivore, homme). La concentration dans l'environnement des métaux lourds augmente avec les émissions urbaines, agricoles et industrielles.

Les animaux sont contaminés lors de l'ingestion d'aliments ou de sol lorsqu'ils sont au pâturage et par l'eau de boisson. Il existe alors un risque de contamination de l'alimentation humaine. Il est nécessaire de contrôler la présence de ses éléments dans les produits animaux, non seulement pour la garantie de la qualité alimentaire mais aussi pour la surveillance de l'impact des activités humaines sur les sols, la végétation, l'atmosphère et l'eau.

De nombreux auteurs ont mis à jour une relation entre les dépôts atmosphériques et des teneurs élevées en métaux lourds dans les sols et les plantes, particulièrement dans les villes, autour d'usines (Krishna *et al.*, 2007) ou à proximité de voies de circulation (Bhatia et Choudhri, 1996). Par exemple, une étude sur une aciérie en Suisse a montré que l'usine rejetait six tonnes de zinc, une tonne de plomb et 16kg de cadmium en une année. De plus 5 tonnes de métaux lourds étaient rejetées dans la rivière (Goerg-Günthardt, 2004).

Des corrélations directes ont été observées entre les concentrations dans l'air et le sol d'éléments toxiques et l'augmentation des émissions anthropiques, sur de longues périodes mais aussi sur des périodes courtes, et des territoires d'étude réduits (Cargianno, 2005).

Des relations entre le niveau de contamination de plantes et la distance à la source de pollution ont également été trouvées (Farmer *et al.*, 2000). Pruvot *et al.* (2006) ont comparé les niveaux de pollution dans des sols et des cultures situés à proximité d'une exploitation



minière et ceux situés dans des zones de référence. Ils ont trouvé des teneurs en Cd et en Pb considérablement plus élevées dans les sols et dans les produits cultivés (blé, maïs, légumes) de la zone polluée.

Le transfert des métaux lourds du sol aux plantes est une étape importante dans l'accumulation des éléments toxiques le long de la chaîne alimentaire. Néanmoins, il est difficile d'établir de fortes corrélations entre les concentrations en métaux lourds dans le sol et dans les plantes. Il existe de nombreux facteurs qui influencent leurs teneurs comme la biodisponibilité des métaux dans le sol, le stade de croissance de la plante ou la distribution des métaux selon les différentes parties d'une plante. De plus certaines plantes sont connues comme étant accumulatrices de certains éléments alors que d'autres plantes ne fixent pas certains métaux lourds.

Cet aspect complique également l'estimation de la quantité de métaux lourds ingérés par les animaux au pâturage. Les variations des teneurs en métaux lourds selon les plantes et selon les saisons (Brekken *et al.*, 2004). Afin d'évaluer la quantité de métaux lourds ingérée par un animal au pâturage, il est donc nécessaire de connaître précisément les quantités et la nature des plantes ingérées. Cependant, des indications sur l'ingestion de métaux lourds peuvent être déduites des connaissances des espèces majoritaires dans le régime des animaux, combinées avec les données des concentrations en métaux et la connaissance de la composition de la végétation du site.

Un ruminant peut ingérer quotidiennement de 1% à 10% de sol au pâturage (mesures effectuées sur des bovins) (Jurjanz *et al.*, 2008). Le sol est donc également un vecteur de contamination des animaux. Il représente en quelque sorte la mémoire des émissions déposées sur un site grâce à sa capacité accumulatrice des polluants persistants sur de longues périodes (UR AFPA, 2009). Les chameaux coupent les herbes avec leurs dents ce qui peut réduire l'ingestion de terre. Cependant, dans les milieux vétérinaires, il a été reporté que des quantités considérables de sol ont été retrouvées occasionnellement dans des estomacs pendant des interventions chirurgicales (Jurjanz *et al.*, 2008).

La proximité des zones agricoles peut contribuer à la contamination des pâturages. Les fertilisants phosphatés sont considérés comme étant la principale source de Cd dans les sols agricoles. Les pesticides et les engrais peuvent contenir du Cr, du Cu ou du Pb. Des analyses de fertilisants ont révélé des taux élevés de Pb et Cd (Parkpian *et al.*, 2003). Les molécules contenues dans les pesticides et les engrais se répartissent dans l'environnement soit par la volatilisation lors de l'application sur les cultures, soit par la percolation dans le sol vers les eaux souterraines, soit par le ruissellement des molécules vers les eaux de surface. Les animaux seront mis en contact avec ces métaux lourds soit par la contamination des eaux, soit par les aliments s'ils pâturent sur les résidus de culture ou à proximité de champs cultivés. Schaposhnikov et Prisnyi (2001) ont montré que l'application de fertilisants phosphatés augmente le taux de Pb et de Cd dans les sols.

Concernant la dispersion des polluants le long des axes routiers, les incertitudes sont grandes. De fortes concentrations peuvent être observées sur les bords des axes routiers, néanmoins, le plomb émis par le trafic automobile peut être transporté sur de très longues distances. Les particules en circulation dans l'air sont dispersées ou incorporées dans l'eau de pluie qui peut être très chargée en polluants (Miquel, 2001). Cependant, les plantes poussant le long des axes routiers sont plus exposées aux gaz automobiles que dans la plupart des autres lieux. Les animaux consommeront alors potentiellement plus d'éléments toxiques à mesure qu'ils se rapprochent du bord de la route (Parkpian *et al.*, 2003). Des analyses de lait produit par des vaches pâturent le long d'un axe routier ont montré des teneurs en plomb élevées, d'autant plus lorsque le trafic routier était important (0,032ppm chez Simsek *et al.*, 2000 et 7,20ppm en moyenne chez Bhatia et Choudhri, 1996).

La contamination de l'environnement des animaux au pâturage a pour conséquence d'augmenter les teneurs en métaux lourds des produits destinés à la consommation humaine. Des teneurs plus élevées en métaux lourds ont été trouvées dans le lait ou la viande d'animaux élevés à proximité d'une source de pollution que ceux élevés dans des milieux non pollués (Farmer *et al.*, 2000 ; Patraa *et al.*, 2008 ; Cai *et al.*, 2009). Simsek (2000) a trouvé des valeurs élevées en Pb, As, Zn, Cu et Fe dans le lait prélevé dans des fermes soumises à des pollutions industrielles ou automobiles.

Vidovic (2005) a trouvé une relation directe entre les niveaux de déposition atmosphérique et la distribution en métaux lourds dans la chaîne sol - alimentation animale - lait. Une diminution de l'activité industrielle a entraîné une diminution des taux de métaux lourds dans les sols, également observé dans les fourrages et le lait analysé.

Néanmoins, certains auteurs n'ont pu mettre en évidence la relation entre le niveau de pollution environnementale et les taux de polluants dans les produits animaux (lait et fromage de brebis, Anastasio *et al.*, 2006).

Alors qu'il existe de nombreuses références sur la composition du lait de vache et de sa contamination par les métaux lourds, il n'y a que très peu d'études menées à ce sujet pour le lait de chamelle. Le contenu en Pb dans le lait de vache ne doit pas dépasser 0.1ppm selon les standards kazakhs pour la consommation humaine. Il est fixé à 0,05ppm en Allemagne et en Hollande. Des niveaux très variables de contamination ont été trouvés dans les précédentes études effectuées au Kazakhstan. On observe des niveaux très élevés (0.53ppm) (Konuspayeva *et al.*, 2008) mais également des teneurs plus faibles (0.025ppm en moyenne pour 8 fermes (Medelkova *et al.*, 2008). La présence de Pb a été relevée dans des fermes très éloignées, provenant de régions différentes. L'espèce animale n'a pas eu d'influence sur les taux en Pb alors qu'il y a une petite différence saisonnière (Konuspayeva *et al.*, 2008). Les valeurs de Pb dans le shubat sont très faibles par rapport aux valeurs trouvées dans le lait.

Les valeurs de Cu trouvées dans le lait de chamelle provenant de fermes kazakhes se situaient dans des échelles de valeurs normales (Medelkova *et al.*, 2008).

Les normes pour le Zn fixées par la FAO sont de 3 à 6 ppm, Meldekova (2008) a observé 5 ppm pour le lait de chamelle et le *shubat* kazakh.

Le Cd et le Cr n'ont pas été étudiés auparavant pour le lait de chamelle au Kazakhstan. Les concentrations en substances toxiques (Pb, Fe, Zn, Mn, Cu et As) dans l'eau, les plantes, le lait et le shubat ont fait l'objet d'une étude préliminaire, la contamination des éléments ayant été vérifiée, cependant le transfert des substances toxiques d'un élément à un autre le long de la chaîne n'a pas pu être mis en évidence (Diacono, 2007).

Il est difficile d'évaluer des relations bien définies entre les concentrations en métaux lourds dans l'eau, les plantes ou le sol et le lait ou la viande de consommation. Les pressions anthropiques sont multiples et les contaminations dépendent de nombreux facteurs interdépendants. La présence de métaux lourds dans le milieu d'élevage et l'alimentation animale affecte la qualité hygiénique des produits finaux, il est donc intéressant de découvrir les mécanismes de transfert le long de la chaîne alimentaire afin de pouvoir les maîtriser.

#### **D. Diagnostic spatial, indicateurs de risque**

Dans les études environnementales, le diagnostic spatial consiste à mener une étude sur un territoire donné afin d'avoir une connaissance des causes de pollution sur ce territoire. La cartographie est un outil intéressant pour établir ce diagnostic. Elle est utile pour analyser les impacts environnementaux des actions humaines et est une aide pour organiser les données disponibles afin de prendre des décisions (Kaminska *et al.*, 2004). Elle permet le suivi temporel et l'enregistrement des changements au sein d'un territoire ou d'un écosystème. Notamment, elle permet de lier de nombreux facteurs entre eux : l'occupation du sol, la présence d'intrants, les aquifères, le sol, les infrastructures.

L'analyse spatiale du territoire d'étude est une aide pour définir les niveaux d'exposition. Pour établir le niveau de risque encouru par chacune des fermes, l'utilisation d'indicateur de pression est intéressante. Ils rendent compte de la pression exercée par les activités polluantes sur la cible étudiée (Riglos, 2005).

Les indicateurs pris en compte dans les études sur la contamination de l'environnement par des éléments toxiques sont multiples et variés :

- Distance à la source de pollution
- Occupation du sol
- Distance à un vent dominant
- Proximité de la pollution à une source d'eau
- Topographie, relief ou environnement micro climatique
- Pédologie
- Position par rapport au bassin versant
- Comportement du contaminant dans l'écosystème

Les différentes sources de pollution induisent un risque pour les eaux souterraines et de surface, pour l'air, le sol et les plantes par les dépôts atmosphériques. Les risques

dépendront donc de la conformation spatiale de l'environnement, de la direction des vents, de la présence d'aquifères, de la distance des sources pollution et de leur importance.



**Figure 3** : Enclos et usine d'asphalte, au sud de Turkestan  
Photo : Le Guillou M.

## II. Matériels et méthodes

Les zones échantillonnées se trouvent dans les régions du Kazakhstan où il y a la plus forte concentration cameline et où les risques de pollution sont patents. Les échantillonnages ont été effectués dans quatre régions, une ferme dans la région d'Almaty, cinq fermes dans la région du Sud Kazakhstan, cinq fermes dans la région de Kyzylorda et deux fermes dans la région d'Atyrau. Pour chacune des régions, une enquête a été réalisée afin de déterminer les différentes sources de pollution autour de chaque ferme.

### A. Description des régions d'étude

Les régions d'Almaty, du Sud Kazakhstan, de Kyzylorda et d'Atyrau sont situées dans la partie sud du pays, elles sont présentées dans la figure 4.



Figure 4 : Les régions du Kazakhstan

#### 1. Environnement et ressources

Dans le sud du Kazakhstan (en dessous de 48° de latitude), où commence la région d'étude, les sols sont de type gris/brun, alternant avec de larges bandes de sols désertiques sableux. Le moyen et sud désert ont des sols bruns.

La région d'Almaty (Annexe 1) est bordée par les chaînes de montagnes d'Alatau au Sud puis s'étend une vaste zone de plaines, vallonnées par de petits creux et bosses avec une végétation de type pariale (herbacées, buissons, absence d'arbres) et des sols de sierozems, pauvres en matière organique (Republic of Kazakhstan, 2006). Au nord de la région se trouve

le lac Balkash. La zone d'étude se situe près du village d'Archi, le long de la rivière Kourti. Elle n'est pas située sur une zone offrant des ressources métallurgiques.

La région du Sud-Kazakhstan (Annexe 2) est traversée par le fleuve SyrDaria, qui prend sa source dans les montagnes du Tian Shan au Kirghizstan pour aller abreuver la mer d'Aral. Les zones cultivées suivent le fleuve tout le long de son parcours. Le nord de la région est traversé par les monts Karataou puis s'étend le désert du Betpak Dala. Au sud des monts Karataou se trouve la ville de Turkestan, située dans une région de déserts, avec une végétation arbustive. C'est une vaste zone de pâturages. Les terres ont un taux de matière organique moyen. Au-dessus de Chimkent, les sous sols de la région regorgent de Pb, Cu et Zn, ainsi que de phosphate (P). Les fermes étudiées se situent au nord, près de Turkestan, où l'on ne trouve pas de ressources métallurgiques (Republic of Kazakhstan, 2006).

La région de Kyzylorda (Annexe 3) s'étend un peu plus au nord, avec des plaines palustres le long du fleuve, qui sont soumises à inondation au début du printemps et peuvent se transformer en marécages (Republic of Kazakhstan, 2006). C'est une zone de plaines désertiques, caractérisée par une végétation résistante à la sécheresse et par des buissons épineux. Il n'y a pas de gisements minéraux, tout comme pour Atyrau.

La zone d'Atyrau (Annexe 4), au nord de la mer Caspienne est une zone de désert plat de basse altitude. Les terres sont salines. Elle est parcourue par des vents chauds toute l'année. Elle présente des températures extrêmes en hiver et en été (Republic of Kazakhstan, 2006).

## **2. Industries et pollution**

Dans la région d'Almaty, la zone d'étude se situe au nord de l'ancienne capitale. Le réservoir d'eau de la rivière Kourti a été jugé pollué par une étude datée de 2005. On a observé un dépassement de 12 fois les Limites Maximales de Concentration fixées par l'Etat kazakh (LMC) pour le Cu (Mourtasin, 2006).

Almaty présente un des plus hauts niveaux de pollution de l'air du pays. Les substances polluantes sont les poussières, les dioxydes de soufre et d'azote, et les hydrocarbures émis par les industries de production d'énergie et la métallurgie. Le rôle de la pollution automobile est également très élevé, et continue à augmenter. Il peut contribuer à 60% de la pollution de l'air dans les grandes villes et monte jusqu'à 90% pour Almaty (Esekin, 2000). Une augmentation de 15% des rejets dans l'atmosphère provenant de la circulation a été enregistrée entre 2001 et 2003 (Agence de statistiques du Kazakhstan, 2009).

Dans la région du Sud-Kazakhstan, on trouve des gisements d'uranium. D'une part au nord de la région, de l'autre côté des monts Karataou, à l'entrée du désert de Betpak Dala et d'autre part, près de la vallée du fleuve Syr Daria. Il y a également un gisement au sud de Turkestan. Une exploitation de cuivre et de baryum fonctionne à côté de la ville de Kentaw, au nord de la ville de Turkistan. C'est une région agricole, principalement de cultures de coton et de blé.

La ville de Chimkent est située sur une région renfermant des ressources minérales. C'est une zone d'exploitation minière et industrielle. Il y a également une usine de distillation du pétrole. En conséquence, la ville enregistre un haut niveau de pollution de l'air. Des

concentrations extrêmement élevées en phosphore, fluor d'hydrogène, plomb, cuivre et cadmium ont été relevées dans l'atmosphère (Esekin, 2000). On peut noter également une augmentation des émissions dans l'atmosphère provenant des transports de 11% entre 2002 et 2003 (Agence de statistiques du Kazakhstan, 2009).

Dans la zone industrielle de Chimkent, la pollution des sols par le Pb était en 2000 de plus de 1500 fois la LMC et par le cadmium de 200 LMC. A cela se rajoute la fuite des eaux usées et l'absence de gestion des déchets toxiques qui participent à la pollution des sols, notamment par le zinc, le fluor, le cadmium, l'arsenic et le sélénium.

Le niveau de pollution du fleuve SyrDaria est contrôlé par deux stations de contrôle qui lui attribuent un indice de pollution de quatrième classe (sur une échelle de 1 à 6). Les substances polluantes sont notamment les sulfates, le cuivre, ou les phénols (en moyenne de 2 à 6 fois les LMC) ainsi que les nitrites (16 LMC) et les produits pétroliers : 4 LMC (Esekin, 2000). D'autre part, une pollution par les radionucléides, le Pb et l'As des sédiments et des sols longeant la rivière Syrdaria a été relevée dans une étude menée par Solodukhin de 2005 à 2008. Deux affluents du fleuve, la rivière Arys qui passe au nord de Chimkent et la rivière Badam sont également pollués (Mourtasin, 2006).

Dans la région de Kyzylorda, les principales villes se situent le long du fleuve SyrDaria. Cette région contient des ressources pétrolifères importantes. Dans le Sud, non loin de la ville de Chieli, on trouve des gisements d'uranium, exploités par des firmes étrangères. Une zone agricole longe le fleuve SyrDaria (coton, blé).

En 2005, des niveaux de pollution importants ont été trouvés dans les réservoirs d'eau et le fleuve SyrDaria, principalement par le cuivre et le phosphate (Mourtasin, 2006). La pollution de l'eau est due aux activités agricoles en amont ainsi qu'aux rejets de polluants par les industries.

Les rejets de substances polluantes dans l'atmosphère provenant des activités industrielles sont estimés à 19 milliers de tonnes dans la région, avec une augmentation en 2003 de 6 millions de tonnes par rapport à 2002. Les rejets de polluants sont principalement dus à l'industrie pétrolière (quatre compagnies exploitent différents sites au nord de la région). L'agence de statistique du Kazakhstan (2009) explique cette augmentation par la croissance de la production en général et par l'exploitation de nouveaux sites pétroliers. Elle relève que les principales industries pétrolières n'ont pas de plan de gestion pour la protection de la nature et que les territoires exploités sont pollués.

La région d'Atyrau, au Nord de la mer Caspienne est connue pour sa production de caviar, mais elle est surtout exploitée pour ses ressources pétrolières. Au sud, à côté d'Aktau des mines d'uranium sont également exploitées. L'agence de statistique du Kazakhstan (2009) enregistre de forte quantité de polluants émis dans l'air. 80 à 85% des émissions seraient dues aux industries d'extraction et de production de gaz et de pétrole. Il y a eu 117,8 millions de tonnes de rejets de substances polluantes (hors émissions automobiles) dans l'atmosphère en 2003, avec une augmentation de 5,3 millions de tonnes par rapport à 2002, qui s'explique également par l'augmentation des activités et de la production.

## **B. Collecte des échantillons**

Les échantillons de lait, de *shubat*, de sol, d'eau et de plantes consommées par les animaux ont été prélevés pour chacune des fermes. Des échantillons de sols ont également été prélevés à proximité de sources de pollution.

Les chameaux élevés sont des dromadaires, des chameaux de Bactriane et des hybrides.

### **1. Echantillonnage du lait et du shubat**

Les échantillons de lait et de *shubat* ont été récoltés dans des bouteilles en plastique de 1 litre. Dans chaque ferme, le lait de mélange de la dernière traite et le *shubat* préparé le jour même ont été prélevés. Les échantillons ont été transportés dans une glacière réfrigérée et gardés au froid dans la mesure du possible. Ils ont ensuite été congelés.

### **2. Echantillonnage de sol**

L'échantillonnage de sol a été réalisé selon les méthodes d'échantillonnage suivies pour différentes études sur les métaux lourds dans les sols (Malherbe, 2002 ; Pruvot et al, 2006). Dans chaque zone, 5 à 10 prélèvements de 500g des premiers centimètres de sol (horizon 0-10cm), répartis aléatoirement ont été réalisés. Ils ont ensuite été réunis et homogénéisés en un seul lot et 500g (seulement une faible quantité est nécessaire pour les analyses) ont été gardés pour les analyses de laboratoire. Les cailloux ont été rejetés.

Au laboratoire, les échantillons ont été séchés au four à 50°C pendant 24 heures. Ils ont été broyés puis tamisés et enfin conservés dans des sacs en plastiques.

### **3. Echantillonnage de l'eau**

Un litre d'eau a été prélevé pour chaque ferme dans une bouteille en plastique, au point d'abreuvement des chamelles.

### **4. Echantillonnage des plantes**

Les plantes ont été prélevées dans les lieux où pâturent les animaux, ainsi que sur un site considéré comme source de pollution (décharge sauvage). Seule la partie consommée par les animaux a été prélevée, c'est à dire en coupant avant la racine pour garder les tiges, les feuilles ou les fruits s'il y en avait. Les plantes ont été prélevées par espèce, en essayant de ne prélever que les espèces consommées par les chamelles. On a prélevé 500g de chaque espèce, quantité transportable et suffisante pour que, une fois séchée, la quantité de matière sèche dépasse les 5g, quantité nécessaire pour les analyses de métaux lourds. Les plantes ont été stockées dans du papier.

Quand cela a été possible, la nature des espèces a été déterminée avec le fermier ou le berger de la ferme. Les noms kazakhs des plantes ont été notés. Une enquête auprès des bergers a été effectuée pour essayer de déterminer les préférences alimentaires des animaux et les proportions consommées de chaque espèce. Les compléments alimentaires donnés par les fermiers aux chamelles ont également été emportés.



Au laboratoire, l'espèce, le genre et la famille de chaque plante ont été déterminés, dans la mesure du possible. Un herbier a été réalisé. Les échantillons ont été séchés, broyés puis stockés par espèce, dans des sachets plastiques.

Les analyses ont été réalisées au laboratoire du Cirad Baillarguet, Montpellier, France.

Le dosage du plomb, cadmium, chrome, cuivre et zinc a été effectué pour tous les échantillons par la méthode de spectrométrie d'absorption atomique.

Pour les végétaux, l'analyse des métaux lourds a été effectuée sur des échantillons représentant un bol alimentaire, c'est-à-dire regroupant toutes les espèces de plantes prélevées pour chaque ferme. D'autre part, pour chaque espèce, l'analyse de la composition chimique a été effectuée à l'aide de la spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR).

## **C. Analyse environnementale et spatiale**

### **1. Récolte des données**

Afin de réaliser l'étude spatiale, les points GPS de chaque ferme et de chaque source de pollution identifiée ont été notés.

En parallèle, il a été nécessaire de regrouper des informations, provenant de différentes sources :

- Fond de carte au format ArcGis
  - o *Internet : Digital Chart of the World (DCW), Diva GIS*
- Topographie, relief, bassin versant, carte administrative
  - o *Faculté de géographie, université de KAZNU Almaty*
  - o *Agence RGKP "Kartographia", Agence RGKP "NKGf", Almaty*
- Climat : pluviométrie et vents dominants
  - o *Institut de géographie, Almaty*
- Pédologie
  - o *Bibliographie*

L'étude de paysage a été effectuée sur le terrain afin de relever les informations suivantes :

- Relief
- Végétation (nature, espèces dominantes)
- Hydrologie : présence d'irrigation, circulation de l'eau, canaux
- Occupation des sols (agriculture, industrie, routes...)

Les sources de pollutions recherchées sont :

- trafic routier
- site industriel
- incinérateurs de déchets ou décharge
- villes
- activités agricoles
- activité minière

## **2. Traitement des données sous ArcGis**

Les données ont été traitées à l'aide du logiciel de cartographie ArcGis 9.2. Les cartes topographiques ont été géoréférencées en utilisant le système de coordonnées WGS 1984, système de coordonnées en degrés décimaux, référentiel mondial. Les coordonnées GPS sont intégrées au logiciel.

La cartographie a permis de représenter, sur une même carte, l'évaluation des risques de pollution pour les différentes fermes selon les sources de pollution identifiées, la topographie du milieu, les vents. Une représentation ou la mise en valeur de certaines données (infrastructure, relief, occupation des sols) a été effectuée.

Le logiciel a permis la représentation de zones de risque de différents périmètres autour des sources de pollution. Lorsque les surfaces obtenues se recoupent, un niveau de risque supérieur est attribué. A chaque surface correspond un niveau de risque (de 1 à 4). L'utilisation de code couleur permet d'illustrer les différents périmètres et les niveaux de risque. Le choix de la valeur de chaque périmètre est explicité dans la partie suivante.

La direction des vents a été représentée ainsi que les zones sous le vent dominant.

## **3. Indicateurs de risques de pollution**

Afin d'agréger les renseignements environnementaux et d'exploiter plus facilement les données, les différentes informations sont présentées sous forme d'indicateurs. La mise en place d'indicateurs permet de comparer les niveaux de risque de pollution selon les fermes. Les valeurs des différents indicateurs ont ensuite été agrégées afin d'obtenir un indicateur final représentant le risque pour chaque ferme. Ces indicateurs sont déterminés à partir de la bibliographie, mais les valeurs attribuées sont indicatives et permettent seulement de comparer les données disponibles pour cette étude.

Selon les sources de pollutions identifiées et les données disponibles, nous avons retenu les indicateurs suivants:

- **Présence de déchets dans la zone de pâture** : Les déchets laissés au pâturage se dégradent et déposent des éléments toxiques ou des métaux lourds. Ceux-ci étant très peu solubles, ils sont rarement lessivés et se fixent dans les sols (Goerg-Günthardt, 2004). Les animaux pâturent à proximité de déchets peuvent alors ingérer ces substances.
  - o 0 : absence de déchets
  - o 1 : déchets personnels de la ferme
  - o 2 : décharge
- **Circulation d'engins motorisés dans les pâturages** : responsables de dépôts de Cd et Pb principalement.
  - o 0 : absence
  - o 1 : présence
- **Proximité d'une route à circulation importante** : La retombée du Pb et du Cd le long des routes à trafic important (axe routier principal) a été retenue pour une distance de

500m. Au-delà, on considère que les particules sont dispersées par les vents sur tout le territoire (Miquel, 2001).

- 0 : route éloignée
  - 1 : route à moins de 500m
- **Distance usine, ville, exploitation minière ou pétrolière** : La dispersion des polluants émis par les usines se fait principalement par les rejets dans l'atmosphère (également par rejet dans l'eau, mais difficile à évaluer). On a retenu un rayon de 5 km pour les retombées proches des particules les plus lourdes. Il est reconnu que les sols les plus pollués sont ceux à proximité d'usine (Miquel, 2001 ; Farmer *et al.*, 2000 ; Cai *et al.*, 2009). Une zone périphérique s'étalant entre 5 et 20 km correspond à la zone de diffusion locale des rejets qui dépend des conditions météorologiques, de l'occupation des sols et du relief de la zone. La dispersion par le vent à l'échelle régionale est considérée à partir de 20 km jusqu'à 400 km environ (CRDP Amiens).
- 0 : usine à plus de 400km
  - 1 : usine entre 20km et 400km
  - 2 : entre 5 et 20km
  - 3 : usine à moins de 5km
- **Distance à une zone agricole** : La contamination peut avoir lieu si les animaux pâturent sur un champ ayant été mis en culture précédemment, ce qui n'a pas été observé pour les fermes étudiées. Sinon elle peut être due à la dispersion des produits appliqués aux champs lors de l'épandage. Si l'épandage est réalisé alors que le vent est faible, la dérive des produits ne s'étend pas sur de grandes distances, on estime la dispersion des gouttelettes à quelques dizaines de mètres (Keichniger, 2006). Le risque de pollution concerne surtout les cours d'eau à proximité de la zone d'épandage (une enquête plus approfondie serait nécessaire pour évaluer les risques liés à l'eau). Une zone de risque de 1 km est considérée pour prendre en compte la contamination possible des cours d'eau autour des zones agricoles et la dispersion par le vent.
- 0 : pas de zones de cultures
  - 1 : zone de culture à moins de 1 km

La mise en place d'un fichier "base de données" contenant toutes les informations retenues pour chaque ferme permettra le suivi sur plusieurs années.

## **D. Analyse statistique**

Les moyennes, médianes, minimum et maximum ont été déterminées pour chaque élément étudié. L'analyse comparative des données entre elles est d'abord effectuée puis la comparaison des données avec la littérature permet d'évaluer la pertinence des résultats. Afin d'étudier la relation entre les différents éléments le long de la chaîne alimentaire, une recherche de corrélation a été effectuée.

### III. Résultats et discussion

#### A. Situation des fermes par rapport aux risques de pollution

Les fermes enquêtées sont donc situées dans quatre régions du Kazakhstan, leur situation dans chaque région est illustrée dans la figure 5.



**Figure 5** : Situation des fermes dans les différentes régions du Kazakhstan

Dans la région d'Almaty, une seule ferme a été étudiée (figure 6).

**Ferme DB** : La ferme de Daulet Beket est située à 93 km au Nord Ouest d'Almaty. La zone de pâturage est une zone de semi-steppe, non exploitée, à petites collines. L'eau provient d'une nappe souterraine. La rivière la plus proche est la rivière Kourti. La présence de déchets dans la zone de pâturage peut participer à la contamination des plantes pâturées par les chameaux. Aucune source proche d'émission de polluants n'a pu être identifiée. Les dépôts de métaux lourds proviendraient donc de la circulation automobile, (trafic personnel dans la ferme, route à proximité présentant un faible trafic) et des substances transportées par les vents sur de longues distances. La région n'est pas soumise, en général, à des vents forts. Il y a en moyenne 15 jours par an avec un vent de plus de 15m/s. Ils sont orientés majoritairement vers les montagnes (sud est, sud) (Republic of Kazakhstan, 1985).

## Ferme et sources de pollution dans la région d'Almaty

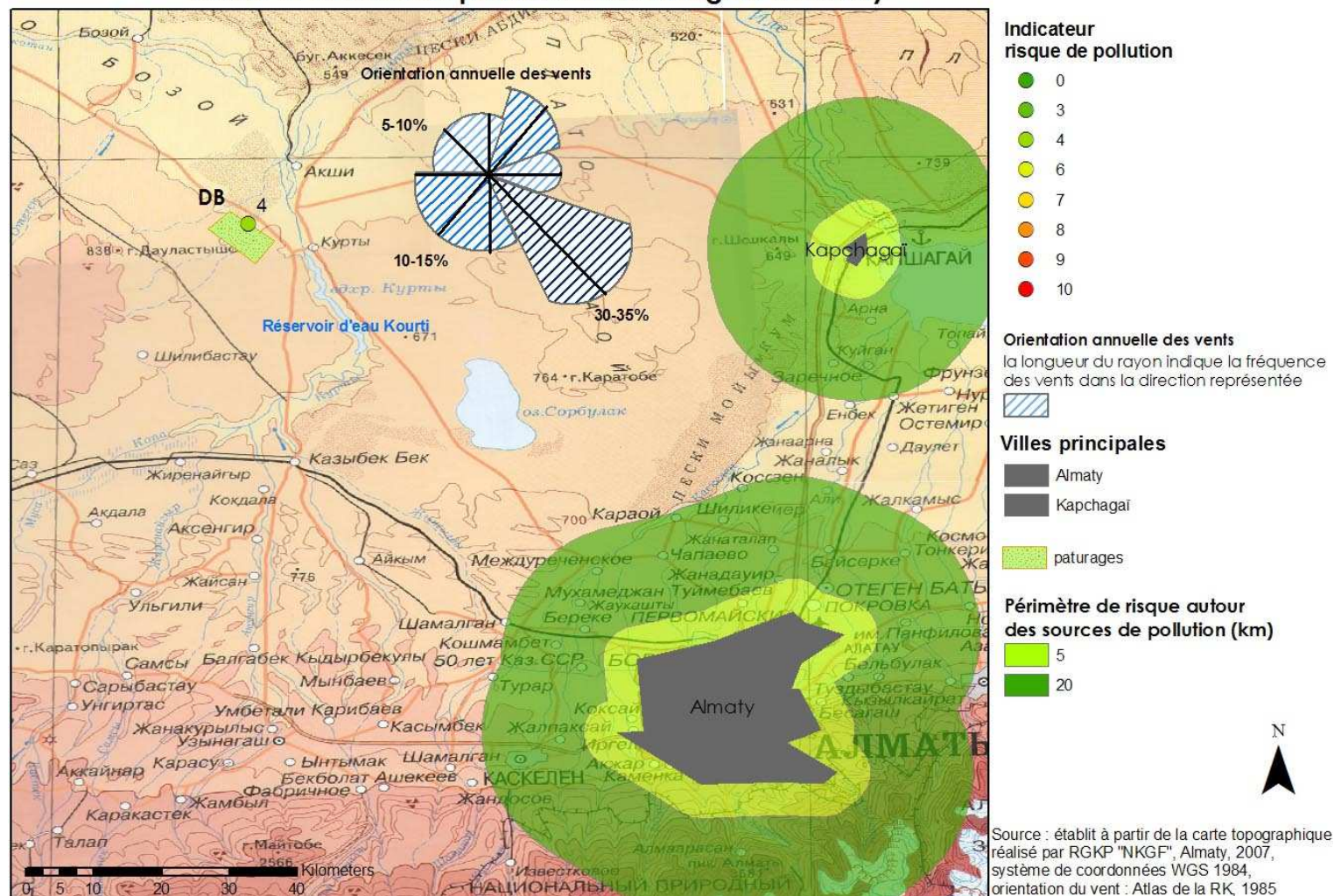


Figure 6 : Ferme et source de pollution dans la région d'Almaty

Dans la région du Sud Kazakhstan, autour de la ville de Turkestan, 5 fermes ont été visitées (figure7).

Toutes les zones de pâturage enquêtées sont des zones de steppe, à végétation d'herbacées pérennes (*Fabaceae*, *Alhagi pseudolhagi*) et annuelles (*Poaceae*) et à petits arbustes (*Artemisia*).

**Ferme CH1 et CH2** : La zone pâturée est proche de cultures de céréales et de coton. Les prélèvements ont été effectués à 500 m de la route. La ville de Turkestan se trouve à 6 km et une usine de polymétal se trouve à 31 km, à Kentaw. L'eau provient d'une nappe souterraine.

**Ferme CH3 et CH4** : Les fermes se trouvent à 500 m et 1 km respectivement d'une usine de production d'asphalte. La route principale Chimkent/Kyzylorda longe les pâturages. L'eau provient d'une nappe souterraine. La ville la plus proche est Turkestan à 92 km. Il y a également des gisements d'uranium exploités à environ 80 km.

**Ferme CH5** : L'enclos pour les chameaux est situé dans la ville même de Turkestan. Les pâturages se situent à l'orée de la ville, dans la zone se trouve la sortie de déchets de canalisation de la ville. Dans la ville se trouvent une usine de ciment et la centrale de chauffage.



Dans la région, les vents sont orientés majoritairement vers les montagnes, vers le sud est. Ils se répartissent de manière égale pour les autres directions. Les rejets de la ville seraient donc majoritairement dispersés vers le sud est, c'est à dire vers les zones de pâturages des fermes CH1 et CH2. C'est une région où la vitesse du vent est faible mais où le vent souffle entre 2 et 4 m/s la majorité de l'année (seulement 14% de jours calmes dans une année) (Republic of Kazakhstan, 1985).

Dans le sud de la région, de nombreuses activités industrielles sont regroupées autour de la ville de Chimkent dont des industries métallurgiques et une raffinerie de pétrole, les points GPS ont été relevés.

Les risques de pollution peuvent également provenir de ces activités, néanmoins les vents soufflent vers les montagnes, au sud et non vers le nord de la région.

### Fermes et sources de pollution dans la région du Sud-Kazakhstan

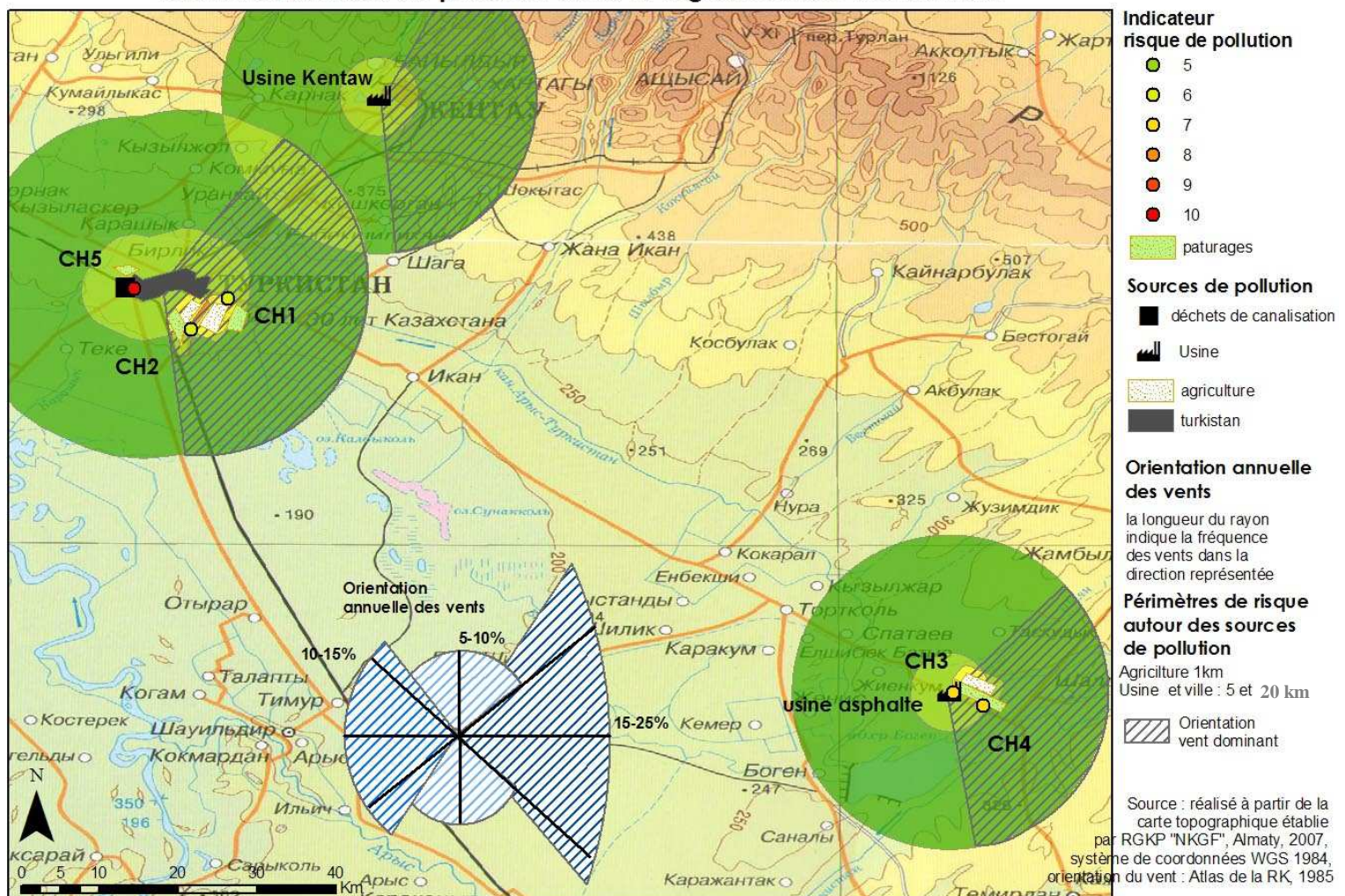


Figure 7 : Fermes et sources de pollution dans la région du Sud-Kazakhstan

Dans la région de Kyzylorda, 5 fermes ont été visitées (figure8). Toutes les zones de pâturages de la région sont des zones de steppes, à végétation d'herbacées pérennes (Chenopodiaceae) et annuelles (Poaceae) et à petits arbustes (Asteraceae *Artemisia*). Au nord de la région, à environ 200 km de la ville de Kyzylorda, se trouvent des gisements de pétrole exploités (Kumkol). A la périphérie de la ville se trouve une usine d'asphalte et de ciment (UAD).

**Ferme KZL1** : La ferme est située à 16 km de la ville de Kyzylorda. Une route secondaire passe à moins d'1 km des pâturages. Un aéroport se trouve à 3 km. L'eau provient d'une nappe souterraine.

**Ferme KZL2** : Les pâturages de cette ferme se trouvent à 10 km de la ville de Kyzylorda. Une partie des pâturages parcourue par les animaux sert aussi de déchetterie à la ville, sur une surface de 1 km. La route secondaire longe les pâturages. L'eau provient d'un canal qui prend sa source dans le fleuve SyrDaria. Des champs de riz sont cultivés à proximité (à partir de 500 m).

**Ferme KZL3** : L'enclos pour les animaux se trouve dans la ville, les animaux pâturent à proximité de la ville. L'eau provient du fleuve SyrDaria.

**Ferme KZL4 et KZL5**: Les fermes se trouvent dans un village qui longe l'autoroute de Kyzylorda/Chimkent. L'eau provient d'un canal effluent de SyrDaria, protégé par des talus. La ville de Chieli se trouve à 26 km. Au sud, trois sites d'extraction d'uranium sont exploités.

La région est caractérisée par une vitesse moyenne de vent plutôt élevée, 5 à 6 m/s. Il y a 10% de jours calmes dans l'année et 30 à 35% des vents soufflent vers le nord est. Sinon les vents soufflent également vers le nord et le nord ouest (Republic of Kazakhstan, 1985). Les vents dominants sont donc à même d'orienter la dispersion des polluants de l'usine d'asphalte et de la ville vers les pâturages de la ferme KZL2. De même l'orientation nord des vents peut augmenter la contamination des pâturages des fermes KZL4 et KZL5 par les rejets des exploitations d'uranium.



## Fermes et sources de pollution dans la région de Kyzylorda

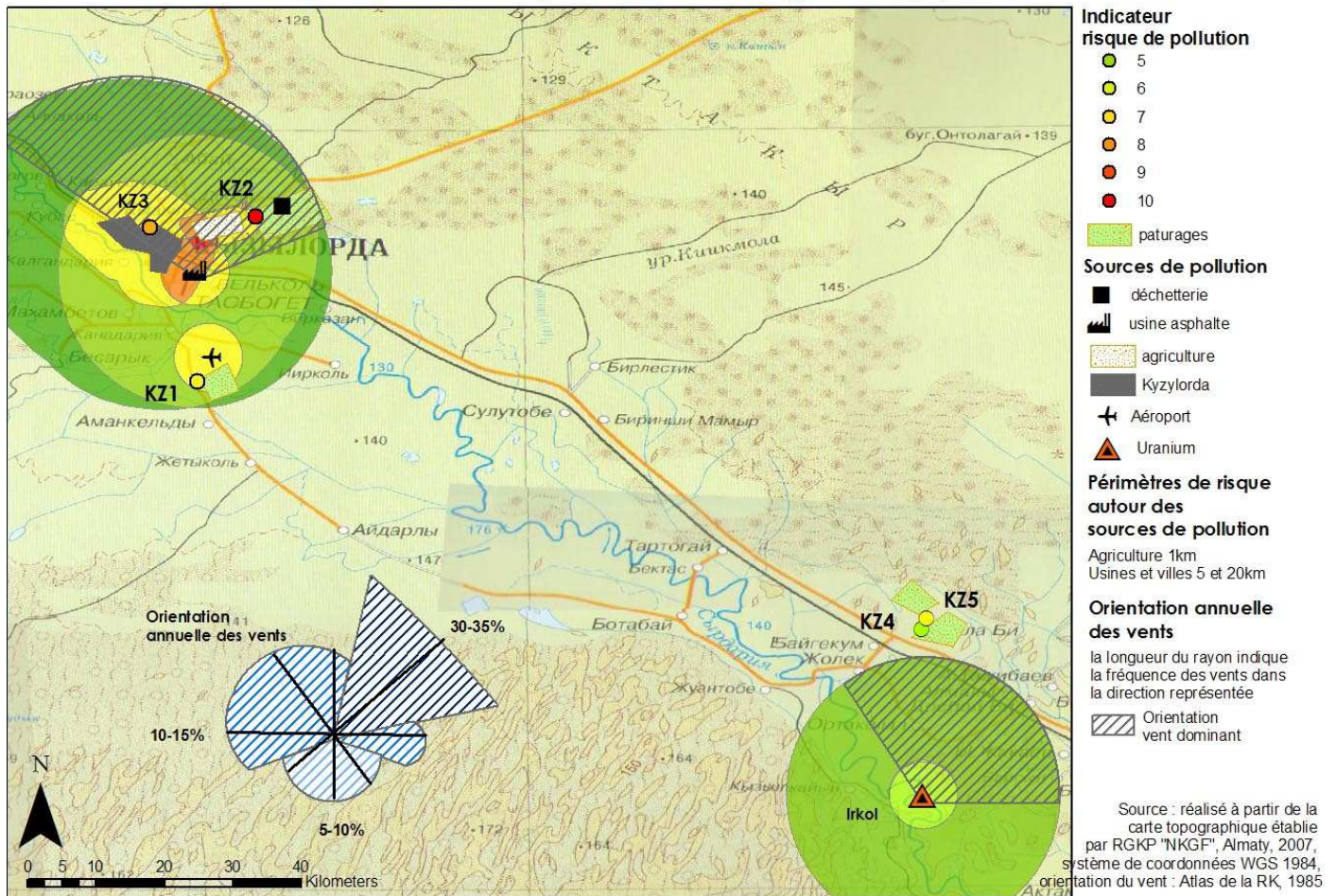


Figure 8 : Fermes et sources de pollution dans la région de Kyzylorda

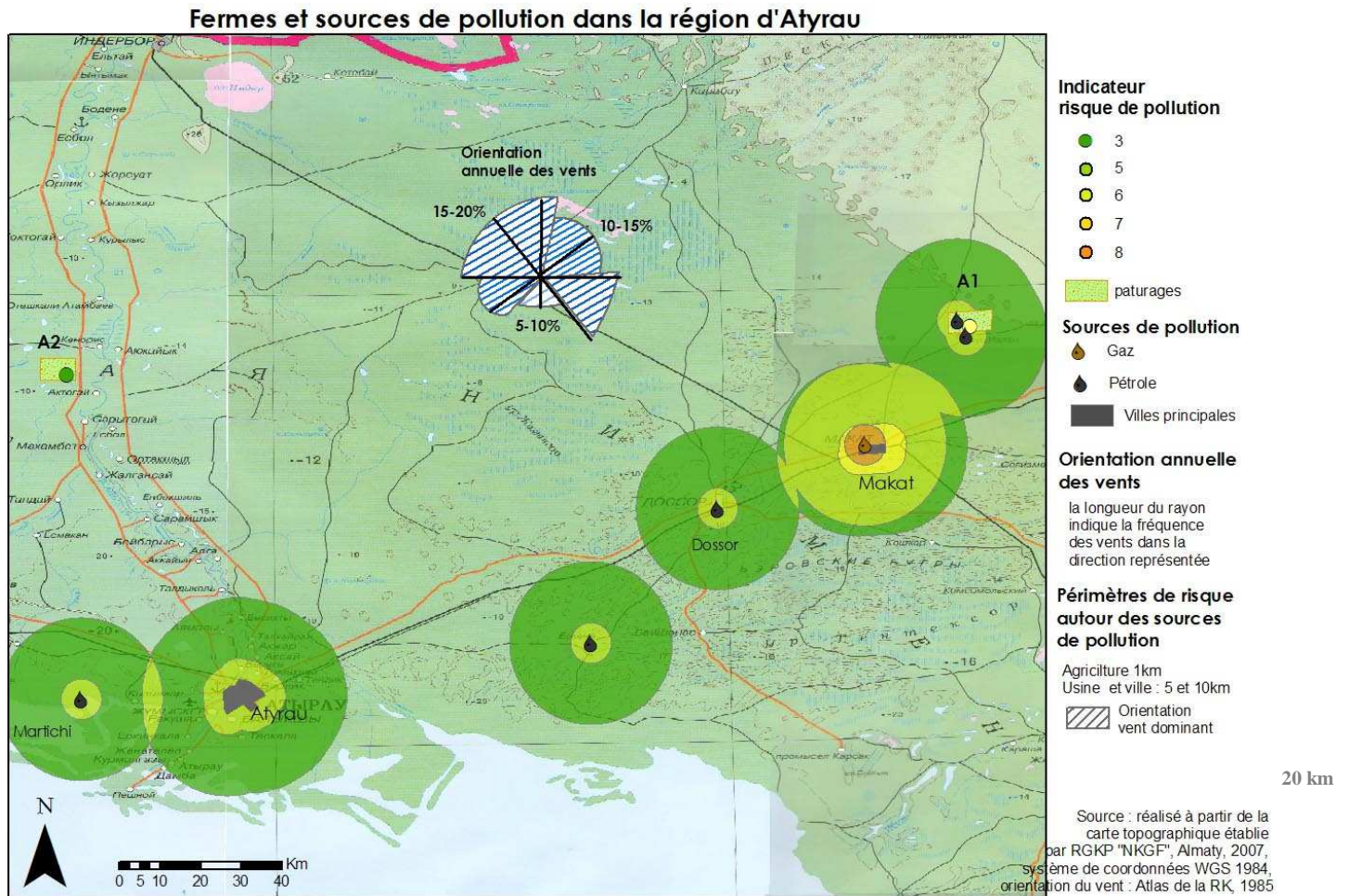
Dans la région d'Atyrau, 2 fermes ont été visitées (figure 9). Les pâturages sont des zones de steppes, à dominance d'*Artemisia*, de *Tamaris*, de *Ephedra Distachya* et de Poacées.

**Ferme A1** : La zone de pâture des animaux se trouve entre deux exploitations de puits pétroliers (Maten et Joldibaï Nord). L'eau est prélevée d'une nappe souterraine. La ville la plus proche est Makat, à 35 km. Les pâturages sont parcourus par de nombreuses pistes pour les engins à moteur.

**Ferme A2** : La plus proche exploitation pétrolière a été évaluée à 50 km, mais n'a pas pu être située. L'eau provient d'un canal surmonté par des talus, le canal prend sa source dans le fleuve Oural qui se jette dans la mer Caspienne. La ville d'Atyrau est à 80 km. La zone est proche de la route Atyrau/Oural et est parcourue par des pistes pour les machines.

Les vents de la région soufflent selon toutes les directions de la rose des vents, sauf vers le sud, vers la mer. Tout le long de la côte de la mer Caspienne, les vents sont particulièrement plus forts, sinon dans le reste de la région, la vitesse moyenne est de 5 m/s (Republic of Kazakhstan, 2006). Il y a 54 jours où le vent souffle à plus de 15m/s et seulement 9% de jours calmes dans l'année.





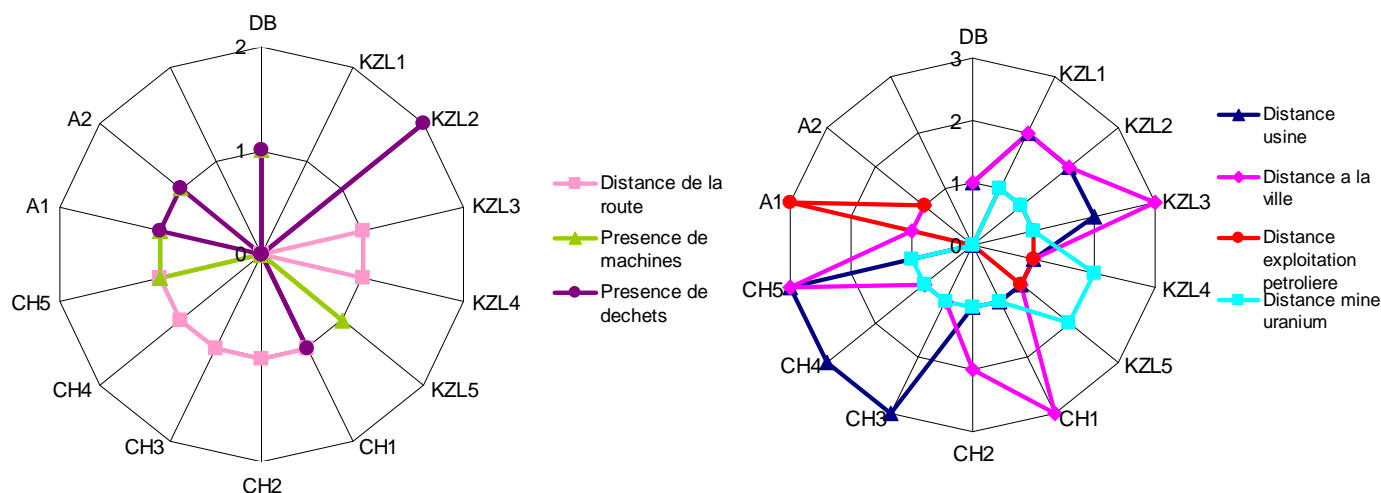
**Figure 9 : Fermes et sources de pollution dans la région d'Atyrau**

D'après la bibliographie et les enquêtes de terrain, différentes sources de pollution ont pu être identifiées. Elles sont représentées sur la figure 10. Les coordonnées GPS sont regroupées en annexe.



**Figure 10 : Sources de pollution identifiées dans les régions d'étude**

L'utilisation des indicateurs permet de prendre en compte les risques dus à la présence d'engins autour des zones de pâturages et à la présence de déchets dans les fermes qui n'ont pas été représentés sur les cartes. La figure 11 présente certains indicateurs, les valeurs des indicateurs pour chaque ferme sont présentées en annexe 6.



**Figure 11** : Valeurs de différents indicateurs par ferme

Les activités industrielles menacent toutes les fermes dans chacune des régions, cependant certaines fermes sont plus proches des usines ou des exploitations et donc directement exposées à la pollution. Les fermes CH3 et CH4 sont situées dans le proche périmètre d'une usine de production d'asphalte (Kizilkopir). La direction principale des vents dans cette région augmente le risque de déposition des rejets de l'usine, elles sont donc fortement exposées aux risques de pollution. On peut noter qu'une petite usine produisant 100 000 t d'asphalte par an peut générer 50 t de rejets toxiques, dont des benzènes, Cd, As et hydrocarbures. En plus des rejets par les cheminées, les usines d'asphalte émettent de grandes quantités d'éléments fugitifs toxiques au niveau du sol (BREDL, 2007). Néanmoins l'usine de Kizilkopir a été exploitée dans l'ancien temps puis abandonnée. Elle vient d'être remise en fonctionnement par de nouveaux investisseurs. Elle n'a donc pas fonctionné à plein régime durant la période d'étude.

Les fermes KZL2, KZL1 et KZL3 peuvent également recevoir les retombées du fonctionnement d'une usine d'asphalte.

La vitesse du vent joue un rôle dans la dispersion des polluants. Plus le vent sera fort, plus les polluants seront dispersés (Venetsanos, 2002) alors que les périodes de calme peuvent entraîner une pollution plus forte autour de la source. Dans ces régions, le vent souffle assez régulièrement et les phénomènes de stagnation des rejets atmosphériques autour de la source seront donc peu fréquents.

La ferme KZL2 présente un risque d'autant plus élevé, que les pâturages exploités par les chameaux sont soumis à la présence de déchets.

Les chamelles des fermes CH5 et KZL3, qui pâturent dans la ville où à proximité, sont exposées à de hauts niveaux de pollution dus aux Pb et aux Cd automobiles.

Dans la région d'Atyrau, A1 est plus exposée à la pollution des rejets de l'exploitation pétrolière qu'A2. Le risque de pollution des sols et des plantes par les dépôts atmosphériques est plus élevé.

La présence de mine d'uranium dans le sud de la région de Kyzylorda entraîne un fort risque de contamination. En premier lieu par les déchets radioactifs, mais ces éléments ne sont pas étudiés dans le présent rapport et, en deuxième lieu, par les métaux lourds, déchets d'exploitation de la mine, comme le cuivre, coproduit de l'extraction de l'uranium.

La présence de champs agricoles exploités menace principalement les pâturages du Sud-Kazakhstan. Cependant les pratiques agricoles de la région ne sont pas connues. Dans ce cas, il est difficile d'évaluer exactement l'intensité du risque. Le risque de pollution par l'agriculture est surtout lié à la pollution de l'eau.

La cartographie permet de représenter les risques de pollution liés à la pollution de l'air et des sols. L'évaluation des risques de pollution de l'eau nécessite de connaître exactement la circulation et la conformation du réseau hydrographique. Notamment, il serait nécessaire de connaître l'origine des nappes souterraines ainsi que les tracés exacts des cours d'eau. Mais les données n'étaient pas disponibles pour la présente étude. Tout comme le rejet d'éléments toxiques par les usines dans les aquifères.

Les données disponibles pour la direction du vent et la vitesse sont les moyennes pour les vents en juillet, en janvier et les moyennes sur l'année. La représentation choisie utilise les données sur l'année, étant donnée que les émissions de pollution ont lieu tout au long de l'année, et donc que les zones susceptibles de recevoir le plus de substances polluantes sont celles qui reçoivent le plus de vent durant toute l'année. Les zones sous les vents dominants seront soumises aux dépôts dus aux industries, aux activités des villes et à l'extraction des ressources primaires. Les données sur les directions du vent datent de 1985 et l'échelle de précision est régionale, c'est-à-dire 1 pour 10 000 000.

Des phénomènes de pollution intense ont lieu selon certaines zones présentant un relief spécifique comme une vallée ou une zone côtière. Les zones étudiées ne présentent pas de tels reliefs, les pâturages se situent tous dans des zones de plaines, éloignées des montagnes, à l'exception de la ferme de Daulet Beket qui présentent des petites collines de quelques mètres de hauteur (10m).

L'enquête environnementale montre que l'environnement dans lequel évoluent les chameaux est soumis à de multiples pollutions. Les différents éléments étudiés sont donc susceptibles d'être contaminés que ce soit par le Pb avec les gaz automobile, les rejets industriels (usine d'asphalte, pétrole, industrie métallurgique) ou l'agriculture, par le Cd (industrie métallurgique, agriculture, usine asphalte, automobiles), par le Cr (agriculture, décharge), par le Cu (agriculture, pétrole) ou par le Zn (industrie métallurgique, décharge). La représentation cartographique permet de visualiser les différentes pollutions qui menacent les fermes.

Toutes les sources de pollution n'ont pas été identifiées, seules les principales ou les sources les plus proches ont pu l'être.

Les animaux au pâturage sont la cible de nombreuses pollutions et peuvent donc être le vecteur de la contamination alimentaire à l'homme.

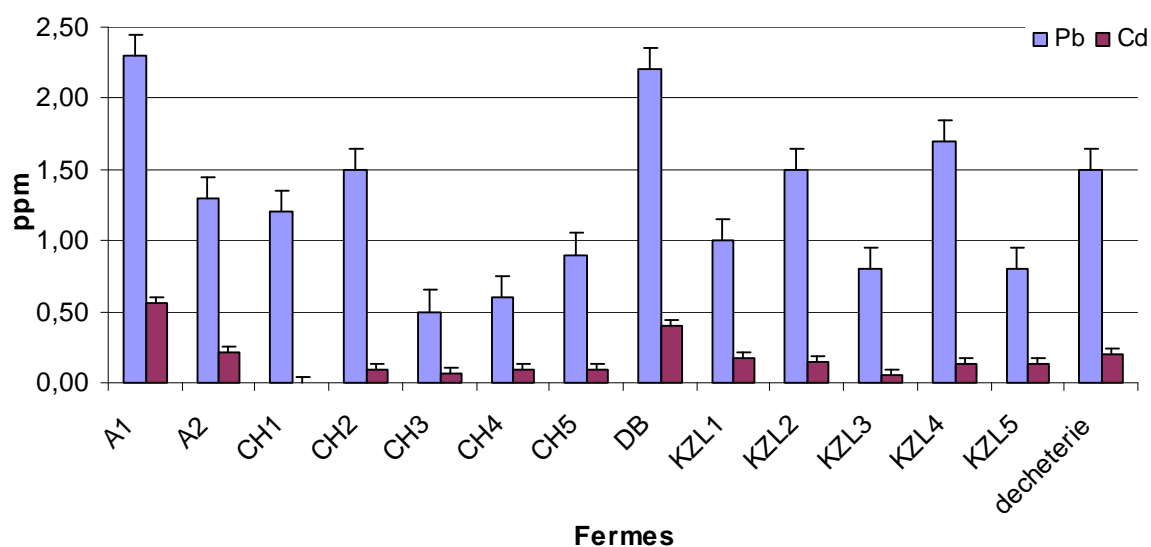
## B. Analyses des données expérimentales

*Note : Au stade de la rédaction du présent rapport, les données des concentrations en métaux lourds des prélèvements en sol et en eau ne sont pas disponibles, les données analysées sont les seules données obtenues, c'est-à-dire le plomb et le cadmium dans les plantes.*

### 1. Pb et Cd dans les plantes

Le taux de Pb dans les échantillons de plantes est compris entre 0,50 et 2,30 ppm, avec une moyenne de  $1,27 \text{ ppm} \pm 0,15$ . Les valeurs sont représentées dans la figure 9. Ces valeurs sont plus faibles que celles obtenues précédemment par Diacono *et al.* (2007), avec une moyenne de  $4,28 \pm 9,60 \text{ ppm}$ . Elles se rapprochent de plusieurs valeurs obtenues dans la littérature pour des fourrages, 1,2 ppm par Cargianno (2005), 0,76 à 6,63 ppm par Parkpian (2003). Elles sont bien plus faibles que les valeurs trouvées par Cai (2009), en Chine qui trouve 3,6 ppm dans une zone évaluée comme non polluée et 132 ppm dans une zone polluée pour des graminées et des feuilles pâturées par les animaux.

Le taux de Cd est compris entre 0,56 ppm et une valeur inférieure à 0,05 ppm, avec une moyenne de  $0,18 \text{ ppm} \pm 0,04$ . Ces valeurs se trouvent dans les intervalles de valeurs trouvés auparavant dans d'autres études, tout en étant relativement faibles (0,56 ppm chez Cargianno (2005), 0,32 ppm dans un milieu non pollué chez Cai (2009), 0,15 à 0,68 ppm chez Parkpian (2003)).



**Figure 12** : Taux de Pb et de Cd dans les échantillons de plantes selon les fermes

En ce qui concerne le métabolisme des plantes, les valeurs sont faibles étant donné que les teneurs toxiques de Cd pour les plantes sensibles sont de 5 à 10mg/kg de MS et les teneurs critiques sont de 10 à 20mg/kg de MS. L'hyper accumulation du Cd semble être un phénomène rare dans le règne végétal (Ademe, 2009). Par rapport au standard pour la consommation humaine les valeurs semblent également peu élevées (1.5ppm en Inde (Lokeshwari *et al.*, 2006)).

L'assimilation des différents minéraux par les plantes peut être dépendant de mécanismes et de facteurs similaires. Le prélèvement d'un élément peut gouverner le prélèvement d'un autre élément (Brekken *et al.*, 2004). La quantité de Pb prélevée par les plantes semble pouvoir être mise en relation avec la quantité de Cd également prélevée. On observe une correspondance entre les taux de Cd et les taux de Pb obtenus dans les plantes (coefficient de corrélation = 0.8). D'autre part une corrélation entre le contenu en Pb et en Cd dans les sols a déjà été constatée (Privot *et al.*, 2006). Les concentrations en Pb et en Cd sont donc probablement interdépendantes et les mécanismes de fixation dans les sols ainsi que le prélèvement et l'incorporation dans le métabolisme végétal.

Le prélèvement de métaux lourds par les plantes dans les sols dépend de nombreux paramètres. Certaines plantes sont de grandes consommatrices alors que d'autres ne peuvent fixer certaines molécules. Ne connaissant pas précisément le régime alimentaire des chameaux aux pâturages et les proportions de plantes ingérées on ne peut se faire une idée précise de la quantité de métaux lourds ingérée par les chamelles. Néanmoins les valeurs observées montrent que la déposition en Pb et Cd a bien eu lieu sur les pâturages. Il y a donc un risque d'ingestion par les chamelles mais qui ne semble pas trop élevé vis-à-vis de l'échelle de valeurs obtenues. Il serait intéressant de connaître les valeurs dans le sol pour connaître le niveau de pollution des zones étudiées.

## **2. Comparaison avec l'analyse spatiale**

Les valeurs de concentration en métaux lourds obtenues ne sont pas contenues dans une échelle de valeurs très large. Les prélèvements effectués à proximité d'une source de pollution (déchetterie) et dans les fermes soumises à de fortes pollutions (KZL2, CH5) ne contrastent pas par rapport aux autres prélèvements.

La ferme A1 présente un niveau de pollution plus élevé que la ferme A2, ce qui pourrait correspondre au fait qu'elle soit plus éloignée des puits pétroliers.

Les fermes CH3 et CH4 ne semblent pas être fortement touchées par la pollution de l'usine d'asphalte. Les fermes CH1 et CH2 présentent une pollution plus importante, qui peut être due à la circulation automobile près des pâturages.

La ferme de Daulet Beket présente la plus forte concentration en Pb alors qu'il n'y a pas eu de source de pollution identifiée. La pollution peut être due aux dépôts par les vents qui transportent les molécules sur de longues distances ou à la circulation d'engins motorisés sur les pâturages.

Des prélèvements de plantes ont été effectués en 2007 dans les fermes A1, A2 et DB, les valeurs étaient également comprises entre 1 et 2 ppm (Diacono, 2007).

Les seules valeurs de Pb et de Cd dans les échantillons de plantes ne permettent pas de conclure sur le niveau de contamination de l'environnement des chameaux au pâturage.

### **C. Analyse de la composition physico-chimique des fourrages**

Le prélèvement des plantes pour l'analyse des métaux lourds a permis de mener en parallèle une analyse de la composition physico-chimique des fourrages. Les taux de matières minérales (MM), de matière Azotée Totale (MAT) ou protéines, de cellulose (CBW), de fibres (NDF), de lignine et cellulose (ADF), de lignine seule (ADL) ainsi que les valeurs de digestibilité in vitro SMS en % de la matière sèche et SMO en % de la matière organique ont pu être déterminés.

Cependant, les valeurs sont à prendre avec précaution. Elles ont été déterminées à partir de la Spectrométrie dans le Proche InfraRouge (SPIR). Cette méthode permet d'analyser un grand nombre d'échantillons dans un temps réduit mais nécessite auparavant de réaliser une base de données pour chaque type d'échantillon. Des équations de calibrage doivent être déterminées à l'aide des résultats obtenus en laboratoire à partir des analyses chimiques conventionnelles. Il n'existe pas de base de données pour les végétaux des steppes d'Asie centrale. Les bases de données disponibles qui se rapprochent le plus des végétaux étudiés sont essentiellement constituées à partir des végétaux sahéliens ou des végétaux appartenant aux mêmes familles de plantes. Les valeurs obtenues sont donc à considérer d'une manière plutôt qualitative. Certains échantillons étant très atypiques et n'ayant pas d'équation correspondante les prédictions peuvent différer fortement selon le choix de calibration. Ces premiers résultats permettent donc de se faire une première impression de la constitution des végétaux pâturés par les chameaux. Afin de connaître précisément leur composition, il serait nécessaire de faire des analyses en laboratoire pour chaque type de plantes.

Les végétaux ont été prélevés dans quatre régions différentes du Kazakhstan, à différentes périodes de l'année. Les plantes de Daulet Beket et de Kyzylorda ont été prélevées en fin avril, période de printemps où les plantes sont encore vertes. Celles d'Atyrau et de Chimkent à la fin du mois de juin, alors que l'été est déjà installé et qu'il ne reste plus que les plantes les plus résistantes à la sécheresse.

Les données générales obtenues pour les différents fourrages prélevés sur les zones de pâturages des chameaux sont présentées dans le tableau 2.



**Tableau 2** : Moyenne, écart-type, minimum, maximum et médiane de différents paramètres physico-chimiques des plantes (en % de la MS).

	MM	MAT	CBW	NDF	ADF	ADL	SMS	SMO
Moyenne	14,0	17,0	29,7	47,7	30,2	7,7	60,4	58,6
Ecart type	0,8	0,6	1,0	1,6	1,2	0,6	1,5	1,5
Minimum	-	5,8	10,9	19,6	12,3	0	17,5	14,2
Maximum	25,9	28,5	55,5	82,9	57,7	21,7	86,5	82,6
Médiane	14,1	17,3	28,5	47,4	29,5	7,5	60,3	59,9

MM : Matière minérale, MAT : Matière Azotée Totale, CBW : Cellulose Brute de Weende, NDF : fibres, ADF : lignine et cellulose, ADL : lignine, SMS digestibilité in vitro en % de la MS, SMO digestibilité in vitro en % de la matière organique

La composition des plantes selon leur famille est présentée dans le tableau 3.

**Tableau 3** : Composition physico-chimique (minimum et maximum en %MS) des familles de plantes.

	MM	MAT	CBW	NDF	ADF	ADL	SMS	SMO	Nombre individus
Asteraceae	3,3-25,2	6,7-21,9	20,4-46,4	27,6-68,8	17,2-52,5	2,9-15,1	44,0-80,8	44,5-79,7	12
Brassicaceae	6,6-24,9	7,5-20,1	20,8-55,5	28,8-80,2	15,7-57,7	1,1-20,6	17,5-78,3	14,2-75,4	11
Chenopodiaceae	9,6-25,9	15,5-23,5	19,2-44,0	34,2-65,2	13,9-42,3	2,4-8,4	52,7-78,6	45,3-68,1	6
Eleagnaceae	13,3	25,0	28,5	47,8	31,4	6,5	62,3	65,8	1
Ephedraceae	23,2	17,8	21,2	45,9	27,7	8,6	60,2	60,1	1
Fabaceae	5,8-15,9	7,4-26,2	22,7-41,8	42,3-59,3	22,5-47,7	3,4-21,7	45,1-77,3	45,3-82,6	16
Malvaceae	16,3	17,4	24,2	45,7	26,6	7,4	62,0	57,0	1
Poaceae	4,8-25,7	5,8-20,8	23,8-47,0	49,1-82,9	21,5-47,7	0-8,7	25,3-63,3	24,3-59,6	10
Tamaricaceae	9,7-18,0	13,9-20,5	14,0-31,5	28,3-21,9	4,4-17,9	4,4-17,9	49,6-75,3	54,7-72,3	5
Zygophyllaceae	18,0	17,4	28,0	30,9	21,6	4,4	75,3	72,3	1,0

MM : Matière minérale, MAT : Matière Azotée Totale, CBW : Cellulose Brute de Weende, NDF : fibres, ADF : lignine et cellulose, ADL : lignine, SMS digestibilité in vitro en % de la MS, SMO digestibilité in vitro en % de la matière organique

Les valeurs obtenues correspondent aux échelles de valeurs présentées par Gintzburger *et al.* (2003) pour les végétaux des zones arides et semi-arides d'Ouzbékistan.

Les plantes ont un taux de matières minérales en moyenne de 14% de la matière sèche avec un maximum de 25%, ce qui semble relativement élevé (8-10% en général pour poacées et fabacées). Les valeurs de cellulose semblent également élevées avec jusqu'à 47% pour des poacées et 41% pour des fabacées (valeurs de 20-38% pour des poacées et des fabacées (Arbouche *et al.*, 2009)). Les valeurs de digestibilité de la matière organique semblent correspondre aux valeurs standards (entre 60% et 70% selon le stade phénologique chez Arbouche *et al.* (2009)). On remarque de larges variations pour la digestibilité, selon les plantes et le stade de prélèvement, entre 14% pour une Brassicaceae et 80% pour une Fabaceae.

Le fait qu'il y ait différentes espèces et que les stades de prélèvements ne soient pas différenciés joue sur la grande variabilité des résultats.

Dans la ferme de Daulet Beket, on trouve des pâturages constitués d'Asteraceae dont plusieurs espèces d'*Artemisia*. On trouve des Brassicaceae dont *Alyssum desertorum* et des Poaceae ainsi que d'autres familles en plus faible quantité. Les plantes sont des herbacées pérennes ou annuelles, il n'y a pas de buissons ou d'arbustes.

Les régions steppiques ont une diversité floristique relativement faible. Les artémises offrent une ressource en fourrage non négligeable, elles sont bien appréciées par les chameaux, ont un rendement annuel élevé et des valeurs nutritives intéressantes. Elles sont souvent en association avec les graminées qui sont aussi une ressource fourragère importante. Sinon, on trouve des plantes halophytes Tamaricaceae (Tamaris) et Fabaceae (Halimodendron), résistantes aux terres salines, ainsi que des Chenopodiaceae, résistantes à la sécheresse.

### Description de quelques plantes majoritaires :

- Asteraceae, plusieurs espèces du genre *Artemisia* : Une grande partie des zones de pâturage est dominée par la présence d'artémises, consommées par les chameaux principalement en été et en automne. La matière azotée représente 14.6% de la matière sèche, ce qui représente un apport d'azote relativement faible par rapport aux autres types de plantes. La cellulose constitue 32% de la matière sèche, valeur au-dessus de la moyenne générale, ce qui représente une bonne capacité d'apport d'énergie. Les plantes de Kyzylorda et de Daulet Beket ont un taux de protéines et une digestibilité plus élevés que les artémises des deux autres régions, ce qui peut être expliqué par la différence entre les saisons de prélèvement, les plantes d'Atyrau et de Chimkent étant plus matures.



Figure 14 : plante de la famille des Asteraceae et du genre *Artemisia*  
Photo : Le Guillou M.

- Ephedraceae, *Ephedra distachya* : petit buisson, souvent consommé par les chameaux, surtout en été quand les autres plantes ont été consommées. La valeur de la composition en matières minérales est élevée (23% MS). La constitution en matière azotée est de 17.8 %MS, alors qu'on observe 14 à 16% de la MS pour *ephedra strobilaceae* (Gintzburger *et al.*, 2003).
- Fabaceae, *Alhagi pseudolhaghi* : c'est une des plus importantes plantes fourragères pour les chameaux. Elle est consommée sur place ou récoltée par les pasteurs. Le taux de matière azotée est compris entre 18 et 26 % de la matière sèche (pour la luzerne observation entre 14 et 29%MS) et la moyenne est de 22.7% de la MS. La cellulose représente 27% de la MS (30% obtenus par Gintzburger *et al.*, 2003). Les



valeurs obtenues pour les fibres semblent élevées NDF=47.5%MS et ADL = 12%MS, étant donné que le stade de prélèvement correspond au stade végétatif et que Gintzburger (2003) donne 6.4% de MS en fibre.

Ces données sur la composition des fourrages au Kazakhstan donnent une première approche des propriétés physico-chimiques des différentes plantes disponibles pour les chameaux. Les plantes ont, en général, une concentration en fibres élevée, mais une digestibilité intéressante, toujours supérieure à 50%. L'apport en azote est possible grâce aux fabacées et aux poacées. Les différences de composition selon les régions seraient à étudier, mais avec des prélèvements effectués dans chaque région pendant les mêmes saisons. Les différences de saisons jouent fortement sur la composition des fourrages. Les données sur les teneurs en azote et en éléments minéraux des fourrages peuvent être comparées aux données sur la composition du lait et du *shubat*.



Figure 13 : Troupeau dans les steppes au nord d'Atyrau  
Photo : Le Guillou M.

## Conclusion

---

Ce stage a permis de faire une étude environnementale des risques de pollution autour des fermes d'élevage camelin. Les cartes réalisées permettront le suivi pour l'étude des impacts environnementaux sur la qualité du lait.

La diversité des sources de pollution et la multitude des facteurs environnementaux influençant la dispersion des polluants, rend complexe la comparaison des risques selon les différentes fermes. Une approche autour d'une source de pollution ou autour d'une ferme permettrait d'appréhender plus précisément la dispersion des polluants et les relations existantes entre les différents éléments de l'environnement. La caractérisation des sources polluantes est un outil pour la suite de l'étude dans la détermination de l'intensité de la pollution du lait et du *shubat* selon les différentes fermes, saisons, ou type d'élevage. La contamination des fourrages a été vérifiée.

L'absence des autres résultats de laboratoire n'a pas permis de mettre en relation l'étude environnementale et la contamination de l'environnement.

La zone d'étude étant considérable, ce travail est apparu complexe mais d'autant plus intéressant. Une extrême précision a donc été difficile à atteindre mais l'appréciation du comportement et des mécanismes de dispersion des métaux lourds a pu être conduite.

La thèse en cours prend comme objet d'étude les mêmes fermes et elle déterminera l'intensité de la contamination du lait et du *shubat* tout en s'appuyant sur les résultats de l'étude environnementale permettant d'évaluer les risques de pollutions pour chacune des fermes.

Il sera intéressant de pouvoir mettre en relation les niveaux de contamination des produits destinés à la consommation humaine et les niveaux de pollution observés selon chaque ferme. Ainsi que d'évaluer si les processus biochimiques pour la production de lait et de *shubat* jouent un rôle dans l'intensité de la contamination.

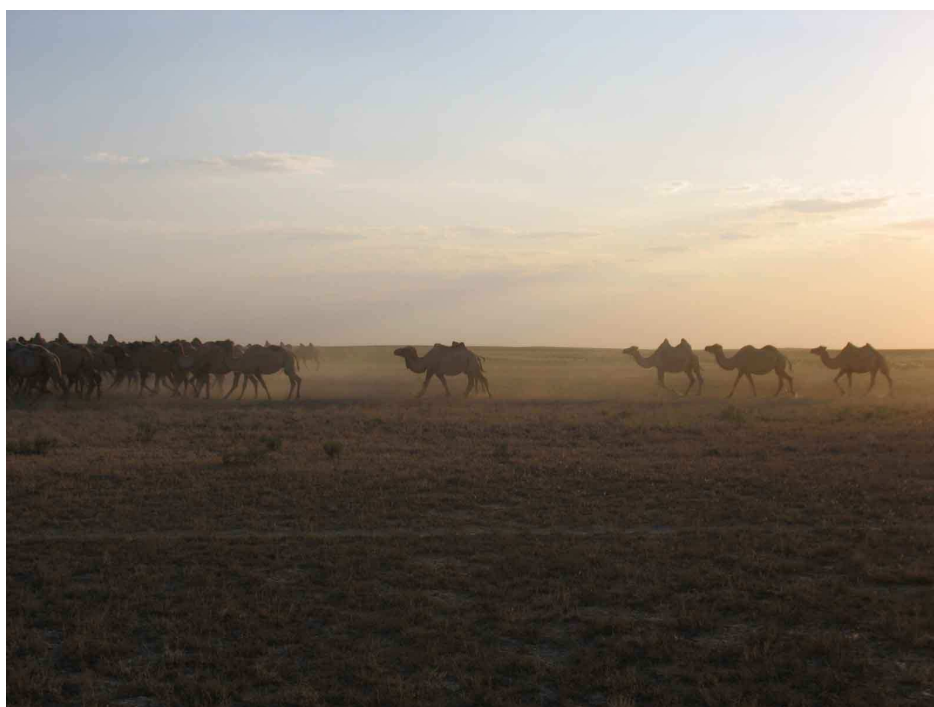


Figure 15 : Troupeau au nord d'Atyrau  
Photo : Le Guillou M.

## Bibliographie

---

AFSSA, 2006. fiche 4 et 13 : Evaluation des risques sanitaires liés au dépassement de la limite de qualité du cuivre et du plomb dans les eaux destinées à la consommation humaine, saisine n°2004-SA-0064

Akhmetsadykova S., 2008. Interaction entre les bactéries lactiques et les métaux lourds, mémoire de Master2, SupAgro Montpellier et Université Montpellier2, 45p

Albrecht C.E.A, 2006. The old world camel as productive farm animal, camel milk production, processing, marketing with special reference to Rajasthan (India) and Dubai (United Arab Emirates), ed Tectum Verlag, 216p.

Arbouche F., Arbouche Y., Arbouche R., ARbouche H.S., 2009. Effets du stade phénologique des prairies permanentes forestières du Nord Est Algérien sur leur production et leur valeur nutritive, Volume 21, Article 115. Retrieved September 2, 2009, from <http://www.lrrd.org/lrrd21/7/arbo21115.htm>

Bengoumi M., Essamadi K., Tressol J.C., Faye B., 1998. Comparative study of copper and zinc metabolism in cattle and camel. Biol. Trace Element Res., 63 , 81-94.

Brekken A., Steinnes E., 2004. Seasonal concentrations of cadmium and zinc in native pasture plants: consequences for grazing animals, Science of the Total Environment 326, 181–195

Brummell P., 2008. Kazakhstan, ed Bradt Travel Guides, 408p

Brunnet R., 2001. Hauts lieux et mauvais lieux du Kazakhstan, l'espace géographique n1, p37-52.

Caggiano R., 2005. Metal level in fodder, milk, dairy products, and tissues sampled in ovine farm of southern Italy, Environmental research 99, p48-57.

Cai, Q., Long M., Zhu M., Zhou Q.Z., 2009. Food chain transfer of cadmium and lead to cattle in a lead–zinc smelter in Guizhou, China, Environ. Pollut., doi:10.1016/j.envpol.2009.05.048

Diacono E., Konuspayeva G., Faye B., 2008. Plant, water and milk pollution in Kazakhstan, B.Faye and Y Sinayaskiy (eds), Impact of pollution on animal products, NATO sciences series, Dordrecht (Netherlands), Springer Sciences + Business Media B.V, 107-116.

Diacono E., 2007. Métaux lourds et radionucléides dans le lait de chamelle frais et fermenté, au Kazakhstan. Mémoire de Master BGAE PARC, Université Montpellier II, Montpellier, France, 41p.

Duteurtre G, 1999. L'industrie laitière au Kazakhstan, perspectives d'appui à l'émergence du secteur privé, rapport de mission CIRAD-EMVT, juin 1999

Farmer A. A., Farmer A.M., 2000. Concentration of Cd, lead, and Zc in livestock feed and organs a metal production center in eastern Kazakhstan, The science of the total environment 257, 53-60.

Faye B., 2009. Programme de coopération franco-kazakh 2009 sur la qualité du lait dans les filières non conventionnelles, Rapport de mission 26 février-6 mars 2009, 37p

Faye B., Bengoumi M., 1994. Trace-elements status in camels: a review. *Biol. Trace Element Res.*, 41, 1-11.

Fontan J., 2003. Les pollutions de l'air: les combattre pour les connaître, ed Vuibert, Paris, 198p.

Gintzburger G., Toderich K.N., Mardonov B.K., Mahmudov M.M., 2003. Rangelands of the arid and semi-arid zones in Uzbekistan, ed. CIRAD-ICARDA, 426p.

Goerg-Günthardt M., 2004. Sur la trace des métaux lourds, Rapport annuel WSL

Jurjanz S., 2008. Dairy livestock exposure to persistent organic pollutants and their transfer to milk : a review, in impact of pollution on animal products, ed Springer NATO, p63-84

Kaminska I.A., Oldak A., Turski W.A., 2004. Geographical information system as a tool for monitoring and analysing pesticide pollution and its impact on public health, *Ann Agric Environ Med* 2004, 11, p181-184

Keichinger O., 2005-2006. Construction des indicateurs de la méthode INDIGO pour les cultures légumières de pleins champs, Document INRA Colmar, 52p

Konuspayeva G., Normuratova M., Meldekova A, Faye B., Loiseau G., 2008. Variation factors of some minerals in camel milk, B.Faye and Y Sinyaskiy (eds), *Impact of pollution on animal products*, NATO sciences series, Dordrecht (Netherlands), Springer Sciences + Business Media B.V :125-132.

Launois M., Laveissière G., Faye B., Kriska M.A., 2002. Le dromadaire pédagogique, eds. Cirad, Montpellier, 54p.

Lokeshwari H., Chandrappa G.T., 2006. Impact of heavy metals contamination of Bellandur lake on soil and cultivated vegetation, *Current science*, vol 91, No5.

Malherbe L., 2002. Designing a contaminated soil sampling strategy for human health assessment, *Accred Qual Assur*, 7: 189-194.

Meldekova A., Konuspayeva G., Diacono E., Faye B., 2008. Heavy metals and trace elements content in camel milk and shubat from Kazakhstan, B.Faye and Y Sinayaskiy (eds), *Impact of pollution on animal products*, NATO sciences series, Dordrecht (Netherlands), Springer Sciences + Business Media B.V : 117-123.

Ministère de la protection de l'environnement de la République du Kazakhstan, 2007. Bulletin d'information sur l'état du milieu environnemental de la République du Kazakhstan, Almaty, [http://www.eco.gov.kz/ekolog/buleten/kaz\\_9.pdf](http://www.eco.gov.kz/ekolog/buleten/kaz_9.pdf)

Miquel G., 2001. Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé, rapport du Sénat n 261, 365p, <http://www.senat.fr/rap/100-261/100-2611.pdf>

Patraa R.C., Swarupa D., Kumara P., Nandia D., Naresha R., Alic S.L., 2008. Milk trace elements in lactating cows environmentally exposed to higher level of lead and cadmium around different industrial units, *Sc Total Env*, 404 (1): 36-43.

Pruvot C., Douay F., Fourrier H., Waterlot C., 2006. Heavy metals in soil, crops and grass as a source of human exposure in the former mining area, *J Soil Sediments*, 6 (4): 215-220.

Republic of Kazakhstan, 1985. Atlas, Volume1: Natural settings and natural resources, edited by N.A. Iskakova, A.R. Medeu, Almaty, 98p

Republic of Kazakhstan, 2006. Volume1: Natural settings and natural resources, edited by N.A. Iskakova, A.R. Medeu, Almaty, 506p

Riglos O., 2005. Cartographie du risque de pollution diffuse des eaux de surface par les produits phytosanitaires et transfert d'échelle spatiale d'un indicateur agroenvironnemental sur des bassins versants emboîtés de la Save (Gers), mémoire ingénieur Cemagref, 132p.

Simsek O., Gültekin R., Öksüz O., Kurultay S., 2000. The effect of environmental pollution on heavy metal content of raw milk. *Nahrung*, 44: 360-363.

Solodukhin V. P., 2008. Creation of the working model of water balance and water quality in Bassin of the SyrDaria river at the territory of Kazakhstan, Annual technical report of the project, 93p.

Troubetzkoy A., 2000. Exporter au Kazakhstan, eds Centre français du commerce extérieur, Paris, 163p

Unité de Recherche AFPA-Nancy, 2009. Exposition des herbivores aux polluants organiques persistants POPs au Kazakhstan, projet de recherche, 8p

Venetsanos A.G., 2002. Studies on pollutant dispersion from moving vehicles, *Water, air and sol pollution, Focus 2* : 325-337.

Internet :

ADEME, 2009, sites pollués et sol, (14-05-2009), <URL : <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=10147#tit7>>

Agence de statistiques de la République du Kazakhstan, 2009, (21-04-2009) <URL : <http://www.stat.kz/Pages/default.aspx>>

BREDL, 2007, Asphalt plant production, (21-04-2009) <URL : [www.bredl.org/pdf/Young&McQueen071004.pdf](http://www.bredl.org/pdf/Young&McQueen071004.pdf)>

CRDP Amiens, 2009, (12-07-2009) <URL : [http://crdp.ac-amiens.fr/edd/air/air\\_maj\\_poll7.htm](http://crdp.ac-amiens.fr/edd/air/air_maj_poll7.htm)>

Esekin B.K., Bogachev V.P., Duskaev K.K., Rodionov A.M., Medvedeva N.Yu., National Environmental Center for Sustainable Development of the Republic of Kazakhstan. S.Zh.

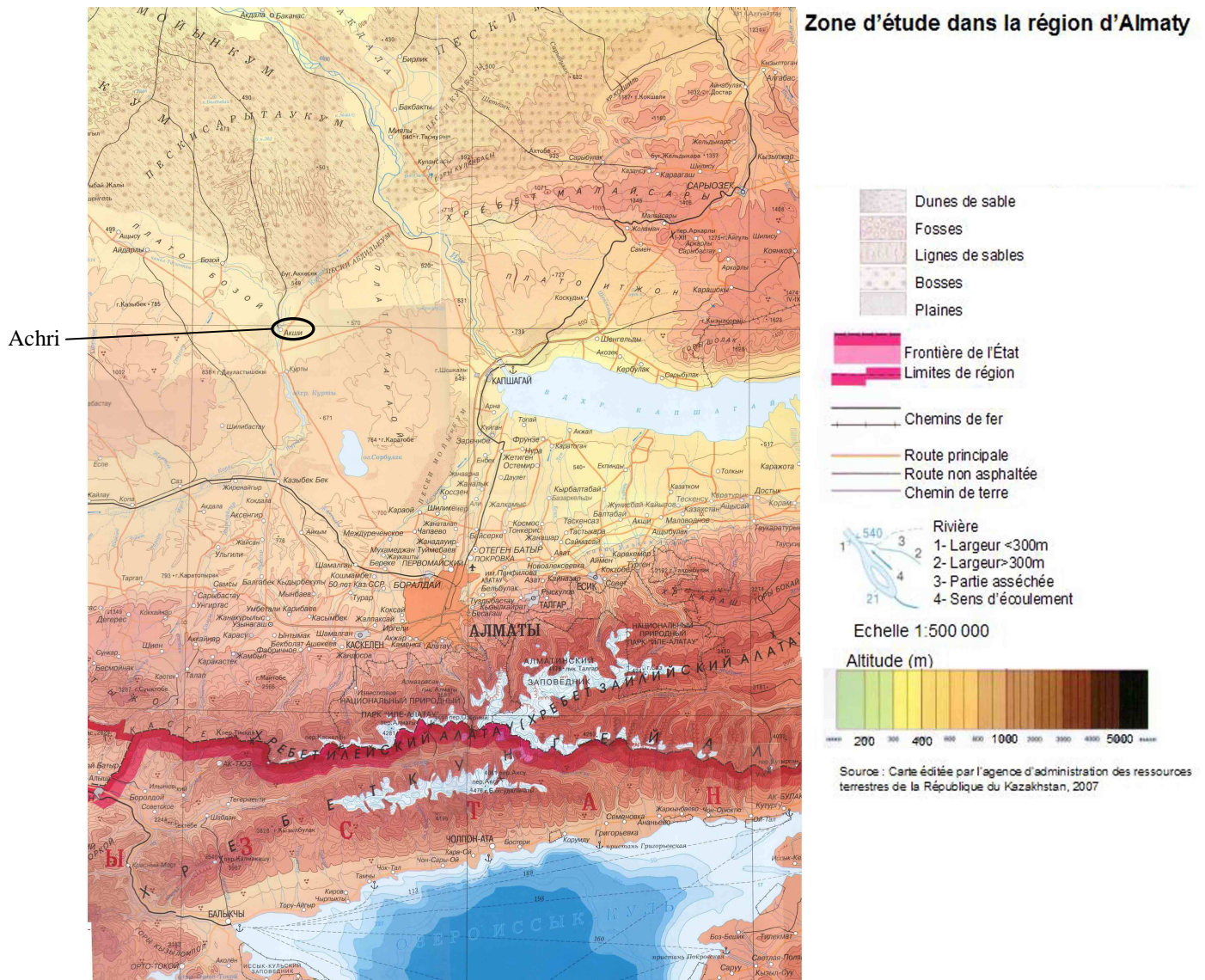
Daukeev, A.T. Bekeev – Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Kazakhstan., State of environment of the republic of Kazakhstan, 2000, (15-05-2009), <URL : <http://enrin.grida.no/htmls/kazahst/soe2/soee/index.htm>>

Santé canada, 2009, Qualité de l'eau- Rapports et publication, (14-05-2009), <URL : <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/index-fra.php>>

## **ANNEXES**

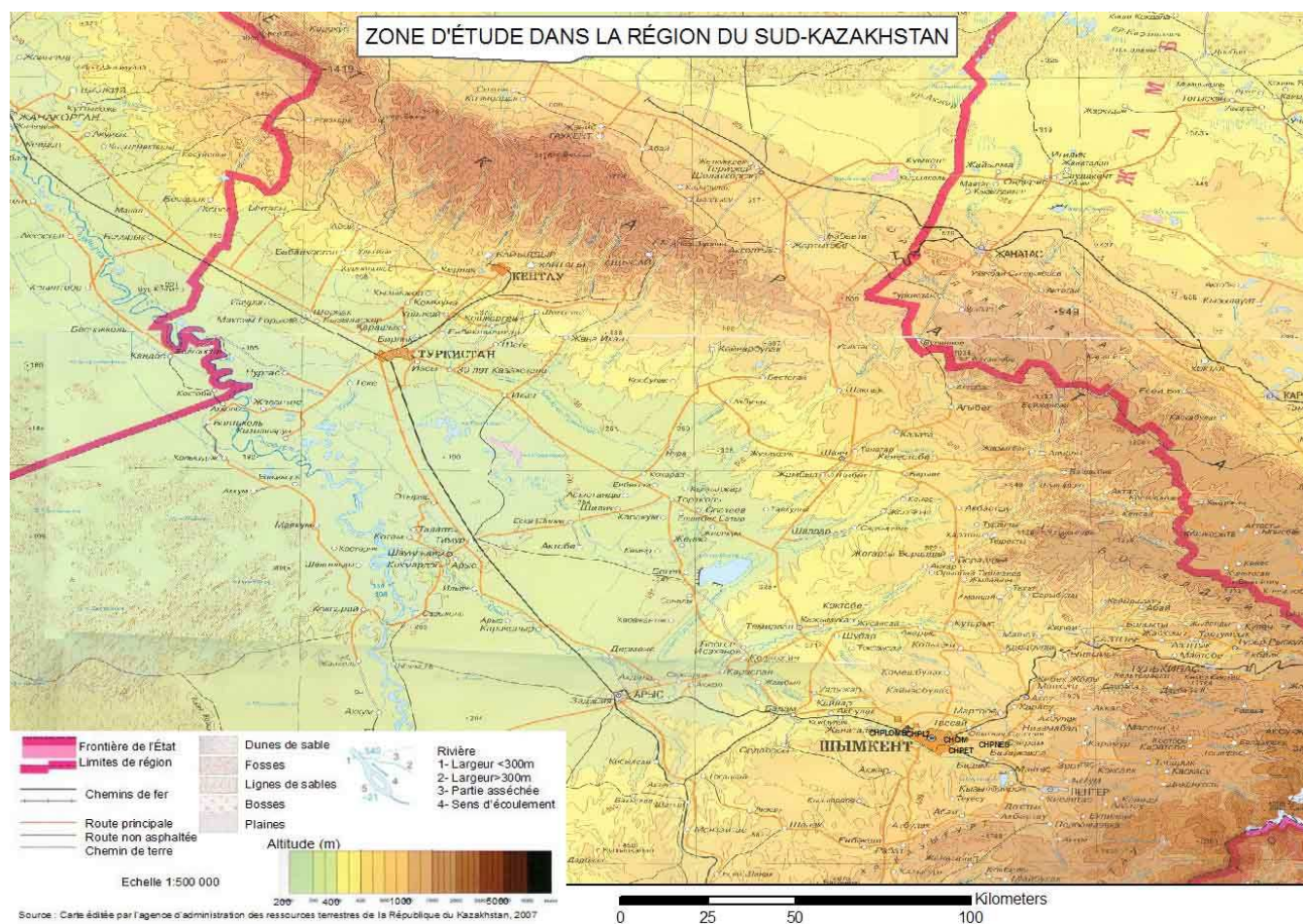


## Annexe 1 : Zone d'étude dans la région d'Almaty

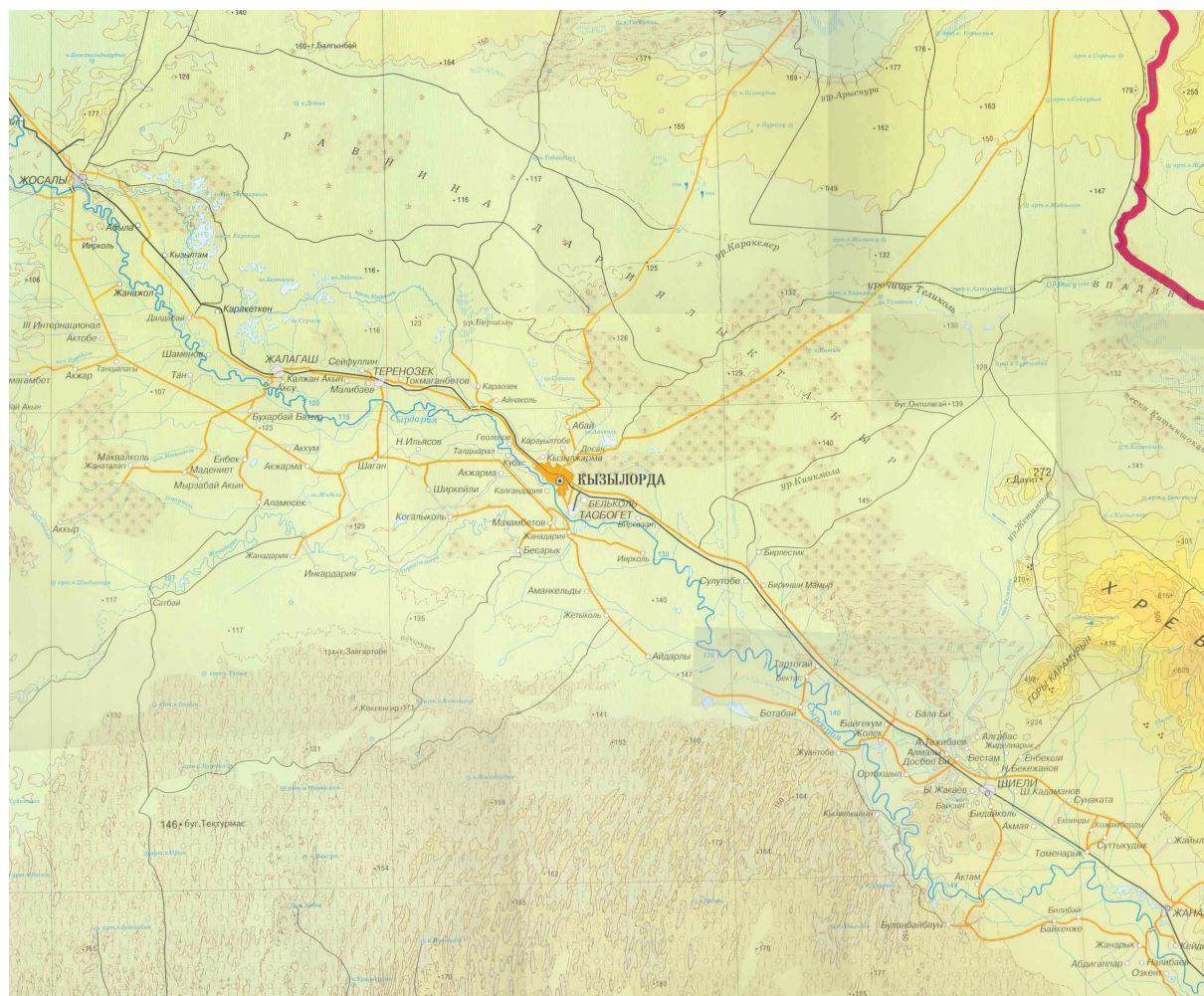




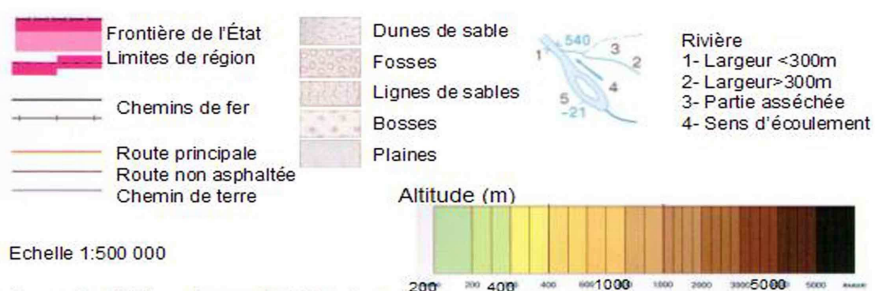
## Annexe 2 : Zone d'étude dans la région du Sud-Kazakhstan



## Annexe 3 : Zone d'étude dans la région de Kyzylorda



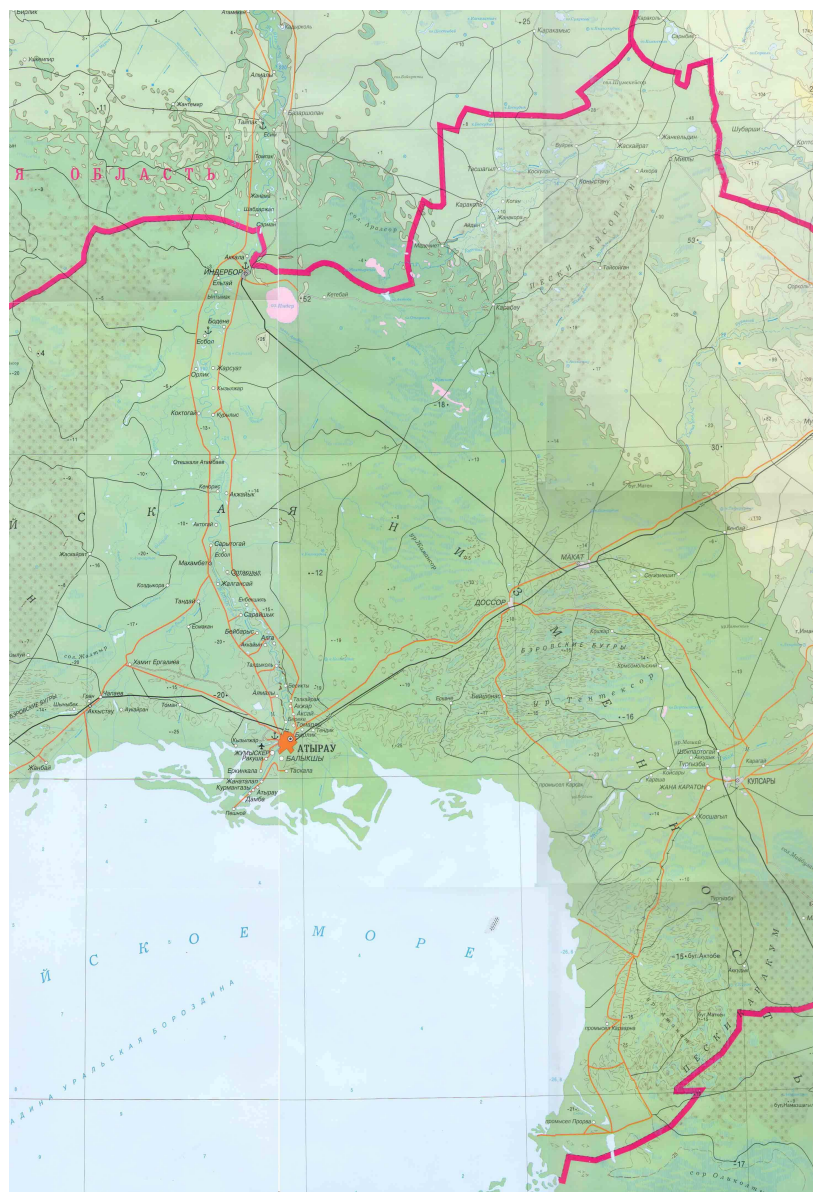
Zone d'étude dans la région de Kyzylorda



Source : Carte éditée par l'agence d'administration des ressources terrestres de la République du Kazakhstan, 2007



## Annexe 4 : Zone d'étude dans la région d'Atyrau



Zone d'étude dans la région d'Atyrau



## Annexe 5 : Points GPS

**Tableau 1 : Position GPS de sources de pollution**

Nom	Description	Source des données	Position	Altitude
Aca	Usine phosphate	GPS	N43.03954 E71.12530	491 m
Aralkoum	Chemin de fer	GPS	N46.50721 E61.89086	118 m
Baikonour	Station spatiale	GPS	N45.68208 E63.37223	187 m
Kengtaw	Usine polymétal	GPS	N43.51076 E68.47955	398 m
Kumkol	Pétrole	d'après observation terrain	N46.66660 E65.45148	
Tekeli	Usine polymétal	GPS	N44.84768 E78.82084	1076 m
Ickinié	Pétrole	data garmin	N47.36755 E52.66571	
Makat	Gaz	data garmin	N47.65045 E53.31665	
Doccor	Pétrole	GPS	N47.53104 E52.97809	118 m
KZL Z2	Usine asphalte Kyzylorda	GPS	N44.81540 E65.56348	122 m
KZL Z1	Déchetterie ouverte	GPS	N44.90111 E65.67946	138 m
CHPET	Raffinage pétrole	GPS	N42.26838 E69.65684	550 m
CHPL2	Usine polymétal	GPS	N42.31048 E69.54803	479 m
CHPNEU	Fabrication pneus	GPS	N42.28135 E69.73396	625 m
CHZAVKK	Usine asphalte Kizyl kopir	GPS	N42.82967 E69.13120	284 m
CHCA	Canal évacuation eaux usées	GPS	N43.29227 E68.18981	213 m
Zaratechnoe	Uranium	Solodukhin <i>et al.</i> , 2008	Région Sud Kazakhstan	
Xarasan	Uranium	Solodukhin <i>et al.</i> , 2008	Région Kyzylorda	
Irkol	Uranium	Solodukhin <i>et al.</i> , 2008	Région Kyzylorda	
Monyoukoun	Uranium	Solodukhin <i>et al.</i> , 2008	Région Kyzylorda	
Karamouroun	Uranium	Solodukhin <i>et al.</i> , 2008	Région Sud Kazakhstan	
Maten	Pétrole	d'après observations terrain	Région Atyrau	
Joldibaï	Pétrole	d'après observations terrain	Région Atyrau	

**Tableau 2 : Position GPS des fermes**

Nom	Region	Position	Altitude
Daulet bekett	Almaty	N43.91307 E76.25747	563 m
KZL1	Kyzylorda	N44.66929 E65.56767	113 m
KZL2 Ferme	Kyzylorda	N44.88680 E65.64326	119 m
KZL2 Pâturages	Kyzylorda	N44.90332 E65.68960	124 m
KZL3	Kyzylorda	dans la ville, pas de réception GPS	
KZL4	Kyzylorda	N44.32257 E66.49960	140 m
KZL5	Kyzylorda	N44.33372 E66.50770	142 m
CH1	Chimkent	N43.27931 E68.30691	206 m
CH2	Chimkent	N43.24419 E68.26550	206 m
CH3	Chimkent	N42.82925 E69.13635	266 m
CH4	Chimkent	N42.81408 E69.17027	269 m
CH5	Chimkent	dans la ville, pas de réception GPS	
A1	Atyrau	39T0691261 UTM 5307650	
A2	Atyrau	39T0538509 UTM 5299528	
T1	Taraz	N43.45293 E070.73267	410 m
T2	Taraz	N43.53415 E070.67953	387 m

Lat/Long hddd.ddddd°  
Système de référence : WGS 84

**Annexe 6 : Les indicateurs de risque**

Fermes	Présence de machines	Provenance de l'eau	Distance de la route		Distance usine		Distance zone agricole		Distance a la ville		Présence aéroport		Distance exploitation pétrolière		Distance mine uranium		Présence déchets, décharge	Total indicateur
			km	Indicateur	km	Indicateur	km	Indicateur	km	Indicateur	km	Indicateur	km	Indicateur	km	indicateur		
Daulet beket	1	Nappe souterraine	3,5	0	100	1	#	0	65 Kapchagai	1	#	0	#	0	#	0	1	4
KZL1	0	Nappe souterraine	0,6	0	16	2	#	0	19	2	3	1	#	1	110	1	0	7
KZL2 Ferme	0	Canal provenant de Syrdaria	1	0	10	2	0,5	1	10	2	#	0	#	1	110	1	2	9
KZL3	0	Syr Darya	0	1	5	2	#	0	0	3	#	0	#	1	110	1	0	8
KZL4	0	Tracé de SyrDaria	0,5	1	90	1	#	0	26	1	#	0	#	1	20	2	0	6
KZL5	1	Tracé de SyrDaria	0,8	0	90	1	#	0	26	1	#	0	#	1	20	2	1	7
CH1	0	Nappe souterraine	0,5	1	31 Kentaw	1	0,5	1	5	3	#	0	#	0	80	1	0	7
CH2	0	Nappe souterraine	0,5	1	31 Kentaw	1	0,5	1	6,5	2	#	0	#	0	80	1	0	6
CH3	0	Nappe souterraine	0,5	1	0,5	3	0,5	1	92,5	1	#	0	#	0	150	1	0	7
CH4	0	Nappe souterraine	0,5	1	1	3	0,5	1	92	1	#	0	#	0	150	1	0	7
CH5	1	Nappe souterraine	0	1	2	3	#	0	0	3	#	0	#	0	80	1	1	10
A1	1	Nappe souterraine	20	0	#	0	#	0	35	1	#	0	4 et 8	3	#	0	1	6
A2	1	Rivière	5	0	#	0	#	0	80 (Atyrau)	1	#	0	50	1	#	0	0	3